

SISTEMA DE GESTIÓN PARA BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs) PRESENTES EN ACEITES DE TRANSFORMADORES EN CUBA

MSc. Margie Zorrilla-Velazco¹, margiezv@uclv.edu.cu, Dr. Elena R. Rosa-Domínguez¹,
Dr. Petra G. Velazco-Pedroso¹, Dr. Herman Vanlangenhove^{II}

¹Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba, ^{II}Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Research Group ENVOC, Coupure Links 653, B-9000, Ghent, Belgium

En el presente trabajo se propone una estrategia para la evaluación del nivel de gestión ambiental aplicable a entidades poseedoras de aplicaciones con PCBs que contempla los principios, objetivos y metas que son necesarios para una gestión primaria segura de los mismos. A partir de una metodología para la identificación de aplicaciones con PCBs y la evaluación del nivel de gestión ambiental se puede establecer un Sistema de Gestión que estará encaminado a la seguridad tecnológica y ambiental en el almacenamiento, transporte y manipulación segura de equipos contaminados, aplicable a equipos en operación y en desuso. El análisis económico realizado, basado en la teoría de las externalidades, demuestra la factibilidad del sistema propuesto y un periodo de recuperación aceptable.

Palabras clave: bifenilos policlorados, gestión de pcbs, PCBs.

A strategy is developed for the evaluation from the level of environmental management for facilities with PCBs applications, principles, objectives and goals for a sure primary management. As well as a methodology for the identification of applications with PCBs that allow conforming the management system guided to guarantee the technological and environmental security in the storage, transport and sure handling of transformers oils and equipment contaminated in operation and out of use. The economic analysis, based on the theory externalities, demonstrates the feasibility of the proposed system and acceptable recovery period.

Key words: polychlorinated biphenyls, pcbs management, PCBs

Introducción

Desde finales de la década de los cuarenta se han fabricado y liberado al medio ambiente miles de nuevos productos químicos sintéticos. Durante 1960, los científicos estudiaron por primera vez los efectos de algunas de estas sustancias químicas en el medio ambiente, sustancias que en la actualidad se conocen con el nombre de Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), y comprobaron que ocasionaban graves impactos a largo plazo en humanos y en la naturaleza.

Los COPs son un grupo de sustancias tóxicas muy resistentes a los procesos de degradación natural, por lo que presentan una estabilidad extrema y una vida larga. Una vez que se liberan al medio ambiente, muchas de estas sustancias persisten durante años e incluso décadas.

Este grupo de COPs lo integran ocho pesticidas: aldrina, endrina, toxafeno, clordano, dieldrina,

heptacloro, mirex, DDT, y los productos químicos industriales: hexaclorobenceno y los bifenilos policlorados (PCBs).

Los PCBs figuran actualmente entre los contaminantes ambientales más difundidos, pues se han podido detectar en casi todos los medios ambientales (atmósfera interior y exterior, aguas subterráneas y de superficie, suelos y alimentos). Cantidades relativamente considerables de PCBs se han liberado y continúan liberándose al medio ambiente, debido a prácticas inadecuadas de evacuación y a la ocurrencia de pérdidas y accidentes en diversas instalaciones industriales.

En Cuba, la fuente fundamental de generación de PCBs procede de transformadores y capacitores eléctricos en desuso e inadecuadamente almacenados en espera de un tratamiento adecuado y no existe un Sistema de Gestión racionalmente seguro de estos equipos. Esta situación tiende a agudizarse, como resulta-

do de la salida inmediata del servicio técnico debido al agotamiento de su tiempo de vida útil.

El objetivo principal del presente trabajo es establecer los principios generales para lograr un Sistema de Gestión de PCBs presentes en aceites de transformadores, que permita minimizar los posibles impactos negativos de los mismos sobre la salud y el medio ambiente.

Fundamentación teórica

La totalidad de los países europeos han desarrollado una normativa específica, regulando así, la fabricación, el uso y la eliminación de los compuestos de PCBs. A partir de los estándares generales, establecidos por la Unión Europea, cada Estado ha regulado la gestión de los PCBs en consonancia con sus propios intereses. Esto queda reflejado, entre otros, en los términos de la ratificación de los acuerdos internacionales en esta materia./3/

Para la compañía ABB de Alemania, fabricante de transformadores más grande del mundo, que empleó años atrás PCBs y que actualmente presta servicios de gestión ambiental, una gestión segura de estos equipos implica la realización de un inventario de todos los dispositivos que pueden contener estas sustancias; tomar datos de placa y año de fabricación; verificar si se realizaron servicios de mantenimiento, analizar estado y vida útil; verificar el grado de contaminación; verificar el almacenaje de tambores usados y tener en cuenta la disposición de todos los capacitores y transformadores contaminados con concentraciones superiores a los 50 ppm de PCBs.

El primer problema que enfrentan los países que siguen utilizando transformadores y capacitores con PCBs es cómo localizar e identificar este equipo; luego se tendrá que tomar una decisión respecto a cómo y cuándo habrá que gestionar, reclasificar y, por último, eliminar el equipo contaminado./7/

El primer paso de una gestión ambientalmente racional de los PCBs consiste en identificar sus fuentes y establecer estrategias dirigidas a reducir o eliminar sus liberaciones al medio ambiente./8/

Muchos países de América Latina también tienen normas y regulaciones con respecto a la gestión de PCBs, entre ellos México y Argentina son los que llevan la delantera en esta materia.

La gestión de equipos y productos que contienen PCBs hay que realizarla teniendo en cuenta los siguientes aspectos: primero hay que identificar los equipos que contienen PCBs, después de identificados hacer un análisis de PCBs al aceite dieléctrico que contienen, posteriormente saber el manejo que se le dará a esos equipos y por último la disposición final teniendo en cuenta los posibles sustitutos de éstos aceites. /6/

Métodos utilizados

Primeramente se definen los principios sobre los cuales se sustentará la política ambiental de las entidades poseedoras de aplicaciones con PCBs, los que se relacionan a continuación:

- Revisión ambiental inicial basada en la identificación de aplicaciones con PCBs y evaluación del nivel de gestión ambiental.
- Propuesta de condiciones seguras de manipulación.
- Logro de condiciones de instalación seguras para equipos que aún se encuentran en servicio.
- Logro de condiciones seguras de almacenamiento para equipos en uso y en desuso.
- Adecuada capacitación del personal involucrado.

En la evaluación del nivel de gestión se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales: primero, el inventario de los residuos que generan, que implica, verificar la confiabilidad de los resultados que han sido obtenidos y segundo, la forma en que manejan y gestionan estos residuos.

Suele ser difícil determinar la presencia de PCBs en equipos sellados (usualmente diseñados de esta manera) ya que en general no se puede forzar la apertura del equipo para investigarla. Realizando un compendio de todas las metodologías encontradas en la bibliografía y adecuándolas a las condiciones actuales de Cuba, en el esquema de la figura 1 se presenta una metodología para la identificación de transformadores que contienen PCBs.

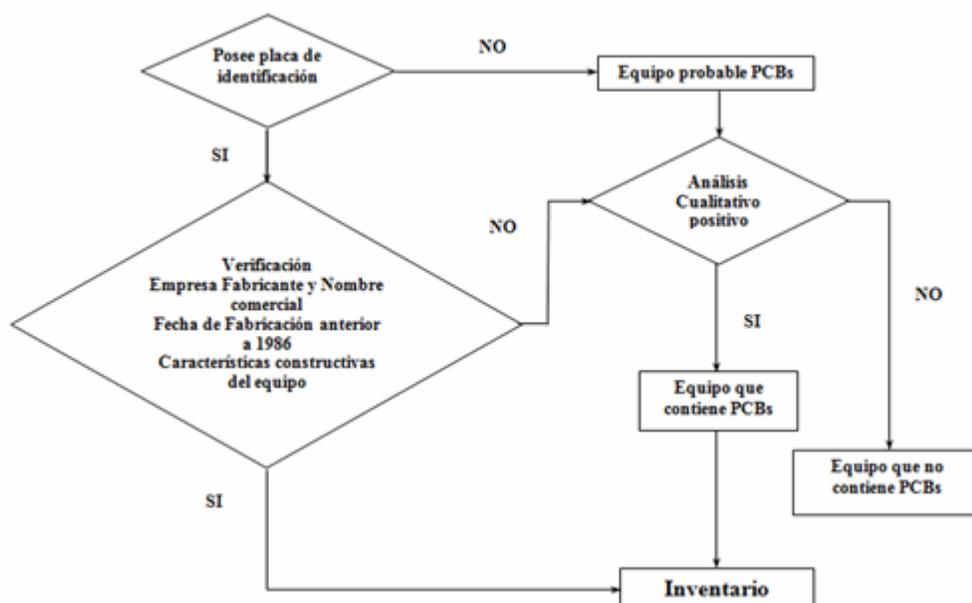


Fig. 1 Resumen de la Metodología para la identificación de transformadores con PCBs.

El paso final de toda metodología que se proponga para la identificación de transformadores ó recipientes con PCBs es el análisis de su aceite dieléctrico, ya que en muchos casos puede que con la placa de identificación se resuelva el problema pero esto no siempre sucede. Este tipo de análisis puede ser cualitativo ó cuantitativo y la elección de uno u otro dependerá del alcance del Sistema de Gestión que se proponga.

Dentro de los análisis cualitativos se propone realizar los siguientes:

- Densidad del líquido del transformador. La gravedad específica de los líquidos organoclorados es mucho mayor que la de un hidrocarburo: alrededor de 1,5, mientras que la del aceite es menor a 1,0.
- Prueba del cloro Se coloca el líquido refrigerante en el extremo de una varilla de cobre y se coloca a la llama de un mechero. Un compuesto que contiene cloro en presencia de cobre producirá una llama verde.
- Espectroscopia IR En el espectro IR de compuestos halogenados aparecen bandas de vibraciones de valencia carbono-cloro intensa y a menudo ancha, en el intervalo de longitudes de onda de 830 a 600 cm^{-1} además de las bandas características del anillo bencénico.

Si se requiere, o se tienen las condiciones para un análisis más preciso se puede llevar a cabo una determinación cuantitativa utilizando la cromatografía de gases ya sea con detector de ionización por llama (FID), captura electrónica (ECD), o espectrometría de masa (GC-MS).

Una vez identificadas las aplicaciones con PCBs se procede a realizar el inventario que incluye la cantidad en volumen o en peso de cada una y en el caso de los equipos, si se encuentran en uso o dados de baja, y el año de fabricación o almacenamiento respectivamente. Existen tres variantes a analizar para realizar una propuesta de gestión adecuada a los transformadores con PCBs:

1. Transformadores que actualmente se encuentran en funcionamiento y que contienen como fluido dieléctrico aceite con PCBs.
2. Transformadores que están en funcionamiento pero que la entidad no sabe si poseen ó no aceite con PCBs.
3. Transformadores que están en desuso y en muy malas condiciones de almacenamiento.

En el caso de los transformadores que actualmente se encuentran en funcionamiento, lo más importante es puntualizar en las fuentes de expo-

de las tareas de mantenimiento y accidentes por salideros ó incendios y las condiciones del lugar donde se encuentran ubicados. Ello implica que deberán estar definidas las normas de seguridad a observar y los medios de protección a utilizar para estas situaciones y aseguradas las condiciones mínimas para que no se afecte la operación del mismo. Para los transformadores que aun se encuentran en

funcionamiento y se desconoce si poseen o no aceite con PCBs resulta muy importante su identificación y manejo. Sin embargo, los transformadores que están en desuso y en inadecuadas condiciones de almacenamiento llevan un tratamiento especial y la disponibilidad de recursos para una disposición permanente, en espera de un tratamiento adecuado. La figura 2 muestra un resumen de las tres variantes.

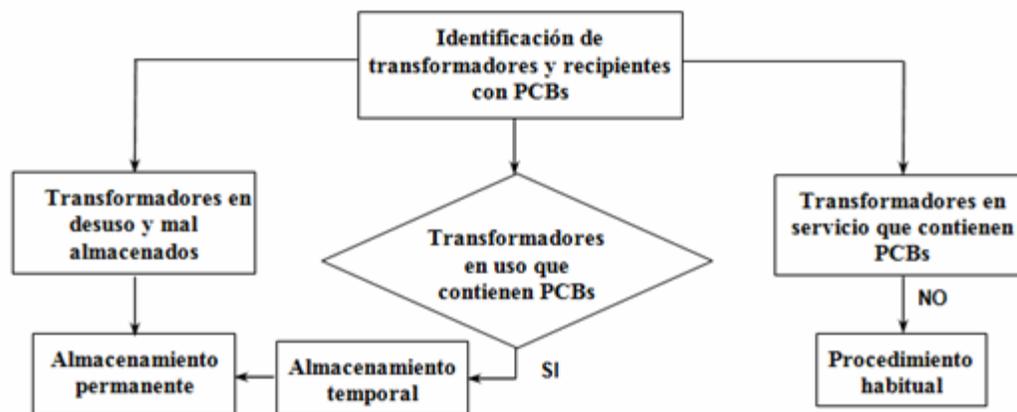


Fig. 2 Resumen de variantes.

Corroborada la existencia en la entidad de equipos o recipientes contaminados con PCB se procede a aplicar la siguiente lista de chequeo que tiene como objetivo determinar el manejo de los residuos de PCBs:

1. ¿Cuenta la entidad ó empresa con un inventario de equipos en desuso contaminados con PCBs?
2. ¿Cuenta la entidad o empresa con un inventario y control de aceites usados contaminados con PCBs?
3. ¿Se cuenta con alguna estimación acerca de los equipos en uso que utilizan PCBs?
4. ¿Se controlan y gestionan los residuos líquidos y sólidos contaminados con aceites que contienen PCBs?
5. ¿Están identificados los riesgos en las áreas donde se trabaja con aceites contaminados con PCBs?
6. ¿Tienen conocimiento los trabajadores sobre los efectos que para la salud y el medio ambiente tienen los aceites contaminados con PCBs?
7. ¿El personal que trabaja directamente con equipos y aceites contaminados con PCBs se encuentra capacitado sobre la seguridad en la manipulación de equipos y depósitos que los contienen?
8. ¿El personal que trabaja directamente con equipos y aceites contaminados con PCBs conoce de los procedimientos de primeros auxilios en caso de accidente y de los medios de protección adecuados para el manejo seguro de estas sustancias?
9. ¿Se conoce como se realiza la transportación segura de equipos que contienen PCBs?
10. ¿Existen planes de emergencia en caso de accidente o derrames de aceites contaminados con PCBs?
11. ¿Se le realiza algún tipo de tratamiento a los transformadores o aceites de transformadores contaminados con PCBs?
12. ¿Se cuenta con algún conocimiento sobre el grado de percepción comunitaria respecto a los riesgos asociados a la utilización de estos compuestos?

Las respuestas a cada una de las preguntas de esta lista de chequeo serán Si o No. El resultado dará una idea de como cada empresa maneja la gestión de sus equipos ó recipientes contaminados con PCBs, por tanto, si menos del 50 % de las respuestas son SI se puede afirmar que en dicha entidad existe una inadecuada gestión y si entre el 50 % y el 80 % son afirmativas dicha entidad está en camino de lograr una buena gestión. Si se obtienen resultados superiores al 80 % existe un adecuado nivel de gestión.

Como resultado de la evaluación medioambiental de las entidades que poseen transformadores en desuso y del análisis de los principales aspectos ambientales que tienen una incidencia directa o indirecta sobre el medio ambiente, se determinan las acciones impactantes y factores impactados que se deben tener en cuenta para la identificación y valoración de los impactos ambientales que generan dichos transformadores.

Acciones impactantes

- A₁ - Generación y emisión de residuos gaseosos.
- A₂ - Generación y emisión de residuos líquidos.
- A₃ - Generación y emisión de residuos sólidos.
- A₄ - Insuficientes medios de protección e higiene del trabajo.
- A₅ - Inadecuada manipulación de transformadores contaminados con PCB.
- A₆ - Condiciones inadecuadas de almacenamiento de transformadores con PCB.
- A₇ - Capacitación del personal.

Factores impactados

- F₁ - Atmósfera.
- F₂ - Suelo.
- F₃ - Aguas Subterráneas.
- F₄ - Aguas Superficiales.
- F₅ - Biota.
- F₆ - Paisaje.
- F₇ - Hombre.

Para la identificación de los impactos se tienen en cuenta algunos parámetros matriciales fundamentales de acuerdo a la matriz de importancia que propone la Guía Metodológica de Evaluación de Impactos Ambientales./1/

Una vez concluida la revisión inicial, que es general para cualquier empresa que posea aplicaciones con PCBs, se particularizará en las deficiencias detectadas en cuanto a gestión de PCBs en cada empresa para diseñar los objetivos, metas y acciones sobre los cuales se encaminará la propuesta de gestión.

Resultados y discusión

La metodología propuesta se aplica a la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (Traviesas). Se escoge esta empresa pues se conoce con anterioridad que posee dos aplicaciones con contenido de PCBs en desuso con presencia de salideros./5/ Esta empresa cuenta además con otras sub-estaciones de transformadores en las que podía tener instalados transformadores con PCBs, pues fueron construidas antes de 1986.

Siguiendo la metodología propuesta en este trabajo se determina que existen 19 transformadores con una cantidad de aceite dieléctrico con PCBs asociada de 22160 kg, cantidad ésta muy superior a la reportada de dos transformadores con 1950 kg de aceite, de los cuales, dos se encuentran en desuso y con inadecuadas condiciones de almacenamiento y el resto se encuentra en funcionamiento, pero no cumple con las condiciones de instalación requeridas.

Al aplicar la Lista de Chequeo se pudo comprobar que la empresa no cuenta con un sistema de gestión adecuado para sus transformadores contaminados con PCBs.

En la realización del estudio de impacto ambiental se construye la matriz de importancia en la que se observa que los factores mayormente impactados son el suelo y el hombre y la acción más impactante está determinada por las condiciones inadecuadas de almacenamiento, seguida de la emisión de residuos sólidos y la incorrecta manipulación de transformadores con PCBs.

A partir de las deficiencias detectadas en cuanto a gestión de PCBs en esta empresa se diseñan los objetivos, metas y acciones del sistema de gestión el que se presenta en las tablas 1 y 2.

Tabla 1
Desarrollo de los objetivos 1 y 2 del sistema de gestión

Objetivos	Metas	Acciones
1. Lograr adecuadas condiciones de seguridad e higiene en el trabajo con PCBs.	Lograr que el 95 %, como mínimo, de los trabajadores que manipulan aplicaciones con PCBs estén aptos para realizar esta tarea.	Determinar el personal que no puede trabajar con PCBs.
		Realizar exámenes periódicos al personal que manipula aplicaciones con PCBs.
		Realizar programas de vigilancia médica.
	Garantizar que el 100 % de los trabajadores conozcan las medidas de seguridad e higiene en el trabajo con dichas sustancias.	Capacitar al personal sobre las recomendaciones generales que debe tener en cuenta para garantizar su salud.
	Garantizar la existencia del 100 % de los medios de protección requeridos para el trabajo con PCBs.	Comprar los medios de protección personal.
2. Lograr una adecuada capacitación en seguridad tecnológica y ambiental.	Garantizar que el 95 % de los trabajadores que trabajan con aplicaciones de PCBs esté debidamente capacitado.	Entrenar al personal que trabaja con PCBs sobre que son los PCBs y los peligros que los mismos representan para su salud y el medio ambiente.
		Entrenar en el uso de equipos de protección personal y su mantenimiento.
		Capacitar en los aspectos de higiene personal en la manipulación de aplicaciones con PCBs.
		Entrenar en respuestas a emergencias ante derrames e incendios.

Tabla 2
Desarrollo de los objetivos 3, 4 y 5 del sistema de gestión

Objetivos	Metas	Acciones
3. Establecer medidas adecuadas en la manipulación de equipos y recipientes que contienen PCB.	Reducir en un 95 % la incorporación de los PCBs al medio ambiente.	Aplicar metodologías para el tratamiento seguro a salideros y derrames.
		Compra de equipos de extinción de incendio
	Lograr la protección y salud del personal involucrado en las labores de mantenimiento en un 100 %.	Garantizar el uso de los equipos de protección personal.
		Establecer las medidas de primeros auxilios.
	Cumplir con el 100 % de los mantenimientos programados a las aplicaciones con PCBs de forma segura.	Lograr que el mantenimiento que se le realiza a las aplicaciones con PCBs sea el más adecuado.
		Evaluar periódicamente el funcionamiento del equipo.
Proponerse que el 95 % de la transportación de PCBs se realice de forma segura.	Lograr la transportación segura de recipientes y equipos con PCBs.	
	Elaborar instrucciones para el manejo de derrames durante la transportación.	
	Elaborar planes de emergencias para la transportación.	
4. Lograr condiciones adecuadas de instalación.	Asegurar de que el 100 % de las aplicaciones que se encuentran en uso estén debidamente instaladas.	Garantizar que se cumpla con las condiciones de instalación requeridas para equipos que se encuentren en explotación.
5. Lograr condiciones adecuadas de almacenamiento para equipos en desuso.	Garantizar que el 100 % de las aplicaciones con contenido de PCBs se encuentren en condiciones adecuadas de almacenamiento.	Construir o adecuar una instalación para estos fines.
		Construir o adecuar envases y/o contenedores para aceites contaminados con PCBs
		Implementar requisitos para la rotulación de las aplicaciones con PCBs.
		Establecer los requisitos para los registros en el lugar de almacenamiento.
		Diseñar los planes de respuesta a emergencias.

Después de aplicado el sistema de gestión propuesto se repite el estudio de impacto ambiental donde todos los factores tienen una importancia positiva y el factor que más se beneficia es el hombre pues con el sistema se eliminan los potenciales peligros a que puede estar expuesto, el suelo, aunque positivo en importancia absoluta y relativa tiene un impacto moderado por la emisión de residuos líquidos, ya que este impacto generado antes de la aplicación de este sistema se mantiene hasta tanto el sitio sea descontaminado. En el caso de las acciones, las más impactantes son: los medios de protección e higiene en el trabajo adecuada, sobre todo para el hombre, que es el más beneficiado, la correcta manipulación de transformadores contaminados con PCBs, condiciones adecuadas de almacenamiento y la adecuada capacitación del personal, acciones todas que influyen positivamente sobre los factores impactados.

Para finalizar se realiza el análisis económico del Sistema de Gestión donde se evalúan las inversiones, costos de operación y la efectividad del sistema para lo cual se deben considerar las externalidades asociadas.

1. Costo de inversión: Materiales necesarios para construir o adecuar instalaciones para el almacenamiento. Se estima un valor de 52 000 pesos.
2. Costo de operación: Costo de los Equipos de Protección Personal (EPP) a comprar para garantizar una adecuada higiene y protección en el trabajo (al menos 5 juegos de EPP/ año).

Se estimó como tiempo de vida útil 10 años, tomado en consideración que aún se encuentran en funcionamiento muchos transformadores que contienen PCBs.

Determinar ingresos considerando las externalidades

Se utiliza ExternE,^{/2/} para la evaluación de este aspecto y para estimar el valor de estas externalidades se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Mortalidad evaluada como Años de Vidas Perdidos (AVP): 30 000 pesos /1 AVP. Se tiene en cuenta la ocurrencia de un caso por año. /4/.

- Costo de un tratamiento médico

Se estimó el costo de una lesión de cloroacné a partir de la siguiente ecuación:

Costos de una lesión de cloroacné = 1,15 (costos directos)/ casos atendidos

Atendiendo a lo anterior se estimó el costo en 2 500 pesos/tratamiento, y se consideran dos casos al año para un valor total de 5 000 pesos / año.

- Costo de incapacidad laboral

En los días de actividad restringidos (DAR) se emplea como el valor de un día de actividad restringido el salario medio de Cuba para el año 2006 el cual fue de 10,2 pesos; aunque emplear esta aproximación tiene sus limitaciones; no se tiene en cuenta que no todas las personas tienen vínculo laboral (niños y ancianos) y que hay personas que acuden al trabajo aún sintiéndose enfermas. Se obtiene un valor de 600 pesos por caso, considerando dos casos al año se tiene un valor de 1200 pesos/año.

Según los valores obtenidos para el VAN \$ 137 337,06 y una TIR 58 %, la implementación de un sistema de gestión para aplicaciones con PCBs es viable desde el punto de vista económico y su inversión se recupera en dos años aproximadamente, además, puede aceptar variaciones de hasta un 30 % de disminución de los ingresos y un 50 % de aumento de la inversión.

Conclusiones

1. Utilizando la estrategia plateada para la determinación del nivel de gestión ambiental que poseen las entidades poseedoras de aplicaciones con PCBs se puede lograr la identificación de transformadores que se encuentran en funcionamiento o fuera de servicio.
2. Mediante el estudio de impacto ambiental, cada entidad podrá conocer los factores más impactados y las acciones más impactantes para de esta forma establecer las prioridades en el desarrollo e implementación de un Sistema de Gestión para aplicaciones con PCBs.
3. La elaboración de un Sistema de Gestión de PCBs se basa en principios generales relacionados con: condiciones seguras de manipula-

ción, condiciones adecuadas de instalación y almacenamiento y la capacitación del personal con vistas a lograr las condiciones requeridas de seguridad e higiene en el trabajo con PCBs.

4. La evaluación económica demuestra la factibilidad del sistema de gestión propuesto para la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (Traviesas) con un valor del VAN de \$ 137 337,06, una TIR del 58 % y un período de recuperación de la inversión inferior a los dos años.

Bibliografía

1. CONESA F., VITORA, V. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*, 3ra Edición revisada y ampliada, Ediciones Mundi – Prensa, 2000.
2. European Commission, EUR 20198—External Costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. ISBN 92-894-3353-1. p. 8.
3. FERNÁNDEZ DE ARROIABE, R. Mesa Redonda, *Aproximación a la Problemática de la Eliminación de los PCBs*, Noviembre, 2001.
4. MENESES, E., *Estimación de los costos en salud para la evaluación de externalidades*, Centro de Gestión de la información y desarrollo de la energía, CUBAENERGIA, 2001.
5. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA), *Inventario Nacional de PCBs y Plaguicidas COP en Desuso*, 2004.
6. OLIVEIRO, S. *Bifenilos Policlorados (PCBs), Historia y Antecedentes*, Mayo, 2003.
7. Proyecto CERI – ACIDI - Colombia, *Manual de Manejo de PCB para Colombia*, Julio, 1999.
8. RUIZ DE ARECHAVALETA, M., OLIVERO, S. y ROSSO, A. *Identificación de Materiales y Productos Conteniendo Bifenilos Policlorados*, (CISCOE), 4ta Jornada de Desarrollo e Innovación. Noviembre, 2002.