

**PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS LUBRICANTES USADOS EN
COLOMBIA Y ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA SU DISPOSICION.**

**JOSE JAVIER CARVAJAL PRADA
JOSE LUIS DELGADO MEJIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2006

**PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS LUBRICANTES USADOS EN
COLOMBIA Y ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA SU DISPOSICION.**

**JOSE JAVIER CARVAJAL PRADA
JOSE LUIS DELGADO MEJIA**

Monografía de Grado como requisito para optar el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental

Director:
Dr. CARLOS FERNANDO GUERRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2006

***A TODOS NUESTROS SERES QUERIDOS QUE SON ARTIFICES Y
PARTICIPES DE TODOS NUESTROS LOGROS.***

***A MI ESPOSA ROCIO POR SU APOYO INCONDICIONAL
A MIS PADRES Y MIS HERMANOS POR SU AMOR Y SU ENTREGA DIA A DIA***

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Carlos Fernando Guerra por su valiosa colaboración y apoyo durante la realización del presente trabajo y la incansable labor de acompañamiento en el transcurso de nuestro post-grado y a todos aquellos amigos y colegas que nos aportaron sus experiencias y conocimientos, haciendo posible este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. LUBRICANTES	3
1.1 FUNCION	4
1.2 COMPOSICION QUIMICA	6
1.2.1 Lubricantes de Origen Mineral	7
1.3 FABRICACION DE LUBRICANTES	12
1.3.1 Lubricantes Minerales	12
1.3.2 Lubricantes Sintéticos	15
2. PANORAMA GENERAL DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL DESECHO DE LUBRICANTES USADOS EN COLOMBIA	17
2.1 GENERACIÓN	17
2.2 IMPACTO AMBIENTAL	19
2.3 EFECTOS TOXICOLOGICOS	22
2.4 TOXICIDAD DE LOS CONSTITUYENTES ENCONTRADOS EN LOS LUBRICANTES USADOS	28
2.4.1 Arsénico	29
2.4.2 Bario	30
2.4.3 Cadmio	32
2.4.4 Cromo	34
2.4.5 Plomo	34
2.4.6 Benceno	36
2.4.7 Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos	37
2.4.8 Tetracloroetano	40
2.4.9 Tricloroetano	41

2.4.10 Tetracloroetileno	41
2.4.11 Tricloroetileno	42
3. MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LOS LUBRICANTES USADOS	44
3.1 RECICLAJE	46
3.1.1 Pretratamiento de Lubricantes para Reciclaje	46
3.1.2 Tratamiento de Lubricantes Usados	52
3.2 INCINERACION	62
3.3 CONFINAMIENTO	63
3.4 BIODEGRADACION	65
3.5 BIOREMEDIACION	
4. LEGISLACION	67
4.1 LEGISLACION OFICIAL COLOMBIANA PARA RESIDUOS PELIGROSOS	74
4.2 FONDO DE ACEITES USADOS	79
4.3 EL NODO REGIONAL DE PRODUCCION MÁS LIMPIA Y TECNOLOGIAS AMBIENTALES DE BUCARAMANGA.	81
5. DISCUSIONES	86
6. CONCLUSIONES	88
7. RECOMENDACIONES	90
8. BIBLIOGRAFIA	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales tipos de aditivos utilizados para elaboración de lubricantes	14
Tabla 2. Resumen de síndromes de hepatotoxicidad debido a agentes ambientales	24
Tabla 3. Concentraciones (ppm) de constituyentes en lubricantes usados	25
Tabla 4. Resumen de valores de toxicidad de algunos constituyentes encontrados en lubricantes usados.	28

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los tipos de lubricantes.	4
Figura 2. Torre de Destilación	7
Figura 3. Torre de Perforación.	8
Figura 4. Explotación de yacimientos terrestres y marítimos	9
Figura 5. Residuos peligrosos generados en las industrias	19
Figura 6. Métodos de tratamiento de lubricantes usados	48

TITULO: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS LUBRICANTES USADOS EN COLOMBIA Y ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA SU DISPOSICION*.

AUTOR: JOSÉ JAVIER CARVAJAL PRADA*, JOSÉ LUIS DELGADO MEJÍA*

RESUMEN

Ante la inexistencia de una oferta suficiente de infraestructura y de sistemas de manejo para los residuos peligrosos en nuestro país, lo que sucede actualmente con la mayor parte de las industrias responsables de su generación, es que los están almacenando dentro de sus instalaciones de manera temporal. En otros casos, los desechos son dispuestos de manera ilegal en forma de aguas de procesos, en cuerpos de agua, o bien, se mezclan con basura municipal y se tiran clandestinamente en sitios sin control. En estos casos se plantean riesgos muy importantes de contaminación de los acuíferos, de daños a la salud y a los ecosistemas, y en general, riesgos para la población. El hecho de que los residuos permanezcan almacenados temporalmente dentro de las empresas no resulta lo más adecuado, además de que plantea problemas potenciales.

Por sus características de peligrosidad los lubricantes usados (lubricante que ya cumplió su función y esta contaminado), pertenecen a la categoría de residuos peligrosos, es por eso que en la actualidad se han desarrollado tecnologías enfocadas al tratamiento de lubricantes usados de las cuales solo dos son las que permiten el aprovechamientos de éstos, bien sea para producir nuevamente un lubricante, como combustible o como materia prima.

En aspectos legales se han desarrollado leyes, decretos, resoluciones y licencias, que definen las condiciones y restricciones que aplican a las diversas fases del ciclo de los residuos peligrosos. Infortunadamente los aspectos económicos obligan a las empresas a enviar los aspectos ambientales a segundo término y solo las empresas de grandes capitales, invierten en tecnologías, siendo que las pequeñas y medianas empresas causan también daños ecológicos, es por esta razón que se deben canalizar esfuerzos para este tipo de empresas.

Palabras claves: Residuos Peligrosos, Lubricantes Usados, Impacto Ambiental, Legislación Vigente, Disposición Final, Efectos Toxicológicos.

* Trabajo de Grado para Obtener el Título de Especialista en Ingeniería Ambiental

* Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Especialización en Ingeniería Ambiental.

Director: CARLOS FERNANDO GUERRA

TITLE: PROBLEMATIC ENVIRONMENTAL OF THE LUBRICANTS USED IN COLOMBIA AND ANALYSIS OF THE ALTERNATIVES FOR ITS DISPOSITION *.

AUTHOR: JOSÉ JAVIER CARVAJAL PRADA*, JOSÉ LUIS DELGADO MEJÍA *

ABSTRACT

Before the nonexistence of one it supplies sufficient of infrastructure and systems of handling for the dangerous remainders in our country, which happens at the moment to most of the industries responsible for its generation is that they are storing them within his facilities of temporary way. In other cases, the remainders are had in a illegal way in form of waters of processes, in water bodies, or, are mixed with municipal sweepings and they are thrown clandestinely in sites without control. In these cases very important risks of contamination of the water-bearing ones consider, of damages to it greets it and the ecosystems, and in general, risks for the population. The fact that the remainders remain stored temporarily within the companies is not most suitable, in addition than it creates potential problems.

By his characteristics of danger lubricants used (lubricant that or acted its as and this contaminated), they belong to the category of dangerous residues, for that reason at the present time focused technologies have been developed to the treatment of lubricants used, and just two are them allow to use these, for producing a lubricant again, like fuel or raw material.

In aspects legal have developed laws, decrees, resolutions and licenses, that defines the conditions and restrictions that apply to the diverse phases of the cycle of the dangerous remainders, unfortunately the economic aspects force the companies to send the environmental aspects to second term and single the companies of great capitals, invest in technologies, being that the small and medium companies also cause ecological damages, is therefore that efforts for this type of companies are due to canalize.

Key words: Dangerous residues, lubricant remainders used, environmental impact, effective legislation, final disposition, toxic effects.

* Work of degree to obtain the title of specialist in environmental engineering

* Faculty of chemical engineering physical, school of chemical engineering, specialization in environmental engineering
Director CARLOS FERNANDO GUERRA

INTRODUCCIÓN

El avance que la humanidad ha observado en los últimos 50 años ha sido verdaderamente impresionante, los inventos y descubrimientos que se han generado, han contribuido de manera sustancial a la salud y al bienestar del ser humano de manera muy importante. Sin embargo, hay que reconocerlo, algunos de estos descubrimientos también han sido causa de problemas muy complejos a los que el hombre tiene que enfrentarse en la actualidad. Un serio problema es el progresivo aumento de la contaminación de nuestro planeta. La generación de residuos en la mayoría de los actuales procesos industriales, es una realidad indiscutible.

El uso de maquinaria y equipo para la fabricación masiva de los diferentes productos que la población demanda, es una necesidad fundamental en este mundo tan cambiante. Dentro de la complejidad de los diferentes procesos de producción, las máquinas juegan un papel de primer orden. Sin ellas sería imposible producir al ritmo que las actuales condiciones de la población lo requieren.

La mayoría de las máquinas que en la actualidad se usan requieren para su correcto funcionamiento de lubricantes. Estos son materiales cuya principal función es la de reducir la fricción y por consiguiente, el desgaste. Actúan principalmente, en piezas metálicas y de plástico. Estos materiales son sustancias químicas derivadas en su mayoría del petróleo, aunque en la actualidad existe una amplia gama de productos sintetizados por el hombre.

Las nuevas tecnologías, requieren de dos características fundamentales: eficiencia y precisión. Por esta razón, los nuevos productos lubricantes contienen aditivos que les confieren nuevas y mejores propiedades que las diferentes máquinas requieren hoy en día.

Infortunadamente por el tipo de función del lubricante, éste debe ser sustituido por lubricante nuevo después de un período de uso, por lo que se convierte en un contaminante.

Pero ¿cuánto aceite lubricante usado se puede recuperar de aquel que se genera y bajo qué condiciones se debe manejar? La respuesta a este interrogante empieza por la determinación del consumo de lubricantes y pasa por aspectos tan diversos como la utilización de los mismos (en motores de consumo total como los motores de dos tiempos (2T) en motocicletas y motores fuera de borda y en lubricación de engranajes abiertos), el tamaño, estado y edad del parque automotor que implica mayores o menores pérdidas por combustión del aceite dentro del motor, las prácticas de conducción de la población en general, el estado de las vías, la formulación misma del lubricante y muchos otros factores. Todo conlleva a que este sea un interrogante de difícil solución en forma confiable. La búsqueda de una respuesta ha sido tema de muchos estudios en el mundo y en Colombia. Pero finalmente, puede sostenerse con base en análisis plenamente sostenibles, que la generación de lubricantes usados en Colombia actualmente es del orden de 12 millones de galones por año.

En nuestro país, sin embargo, no existen datos confiables acerca del manejo de los lubricantes usados. Es muy posible que en la actualidad un gran porcentaje de la producción total tenga como destino final las alcantarillas o las formas clandestinas de desecho, pese a que existe una legislación que regula el manejo de los lubricantes, en realidad su manejo es inadecuado y genera grandes problemas de contaminación. Colombia se enfrenta a su problema fundamental, no tiene la infraestructura necesaria ni adecuada para resolver el problema, lo que agrava las circunstancias de la contaminación por lubricantes usados.

1. LUBRICANTES

Pinturas en las paredes internas de tumbas egipcias, nos remontan al año 1650 A.C.; en una inscripción de la tumba del faraón Tehut Metep, se describe la forma en que se debía aplicar algún tipo de lubricante a los troncos para facilitar su movimiento y traslado para la construcción de las pirámides. Lo que nos indica que desde la antigüedad el hombre ha necesitado reducir la fricción.

Plinio (23 – 79 d.C.) preparó una lista de lubricantes de base animal y vegetal que eran comunes en su época y que a la fecha se siguen usando.

Las primeras sustancias usadas fueron los aceites minerales, obtenidos de yacimientos superficiales y mejorados con los ya conocidos lubricantes naturales.

El primer pozo cuyo único propósito era la extracción de petróleo se complementó exitosamente en Pensilvania en 1859. El incentivo para hacerlo era la creciente demanda de kerosene para la iluminación; sin embargo ya se conocían los procesos de destilación, los cuales brindan fracciones lubricantes pesadas.

En la actualidad, los aceites lubricantes no se consideran como auxiliares de la maquinaria, sino parte integrante de ella. El lubricante es prácticamente una pieza más de cualquier maquinaria.

Los lubricantes son sustancias fluidas que dependiendo de las condiciones de fricción, actúan de sustancia intermedia en el punto de fricción.

En la Figura 1 se encuentra una clasificación de los tipos de lubricantes.

Figura 1. Clasificación de los tipos de lubricantes

LUBRICANTES	VEGETAL	ACEITES VEGETALES (ESCENCIAS)
	ANIMAL	TEJIDOS GRASOS
	MINERAL	BASICOS PARAFINICOS BASICOS NAFTENICOS BASICOS AROMATICOS
	SINTETICOS	POLIGLICOLES HIDROCARBUROS SINTETIZADOS ESTERES ORGANICOS ESTERES FOSFATADOS

1.1 FUNCIÓN

La función y el efecto de los lubricantes están contenidos en el propio término. Lubricación significa el efecto de la sustancia lubricante en un punto de fricción.

El propósito primario de la lubricación es minimizar la fricción y el desgaste.

Existen en adición, otros propósitos secundarios dependiendo de la aplicación, estos incluyen: enfriamiento, mantener la máquina limpia, mantener los contaminantes en suspensión, prevención de la corrosión o actuar como sello.

La lubricación define por tanto, el control de la fricción y desgaste entre dos superficies en movimiento, debido a la introducción de una película entre ellas.

La lubricación de cualquier equipo se constituye como un factor importante para sostener la producción, reducir demoras y lógicamente abatir los costos de mantenimiento.

Los deslizamientos (fricción) de sólidos y líquidos, pueden combinarse así:

Líquido – Líquido , Sólido – Sólido , Sólido – Líquido

En todo desplazamiento, se generan resistencias por rozamiento que se oponen al movimiento.

Las de menor valor son las de la combinación (líquido – líquido), y las de valor más elevado, las de sólido – sólido, siendo un punto intermedio las de tipo sólido – líquido.

En las maquinarias, mecanismos, motores, etc., la mayoría de los casos pertenecen a la fricción sólido – sólido, siendo la finalidad de la lubricación, la de transformar estas fricciones en líquido – líquido con la consiguiente disminución del rozamiento interponiendo una capa líquida – grasa intermedia entre las superficies de deslizamiento, sustituyéndose de este modo el rozamiento externo de dos cuerpos por el interior del lubricante, evitándose también la corrosión y el desgaste al no existir el contacto metal – metal, principal causa productora del mismo.

La lubricación participa en el equilibrio térmico de las máquinas, ya que disminuyendo el rozamiento, la elevación de temperatura es mucho más reducida.

Los lubricantes deben disminuir al máximo posible los rozamientos de las partes móviles, facilitando el movimiento y además deben:

- Soportar grandes presiones.
- Mantener la viscosidad poco variable ante los cambios de temperatura.
- Actuar como fluido hidráulico.

- Actuar como refrigerante.

Pero un lubricante, además de reunir todas las propiedades expuestas, para efectuar una buena lubricación debe mantener sus cualidades a lo largo del tiempo que dura su servicio sin estropearse, siendo síntomas de esto último la formación de ácidos y la formación de lodos. Debiendo ser además, refractario a cierto tipo de contaminantes, principalmente por aire y agua.

Como complemento un lubricante ha de cumplir las misiones de proporcionar cierre hidráulico y ser refrigerante de los órganos mecánicos y muchas veces en los sistemas eléctricos.

Resumiendo la función a cumplir por un lubricante, es dar buen servicio y protección a las partes mecánicas, a todas las temperaturas, por un cierto período de tiempo, el cual está determinado por el tipo de aplicación, que puede ser momentáneo o por varios años.

1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los aceites lubricantes minerales proceden en su mayoría de la destilación de petróleos brutos o crudos, así se les denomina por ser extraído de las profundidades de la tierra, como se muestran en la Figura 2.

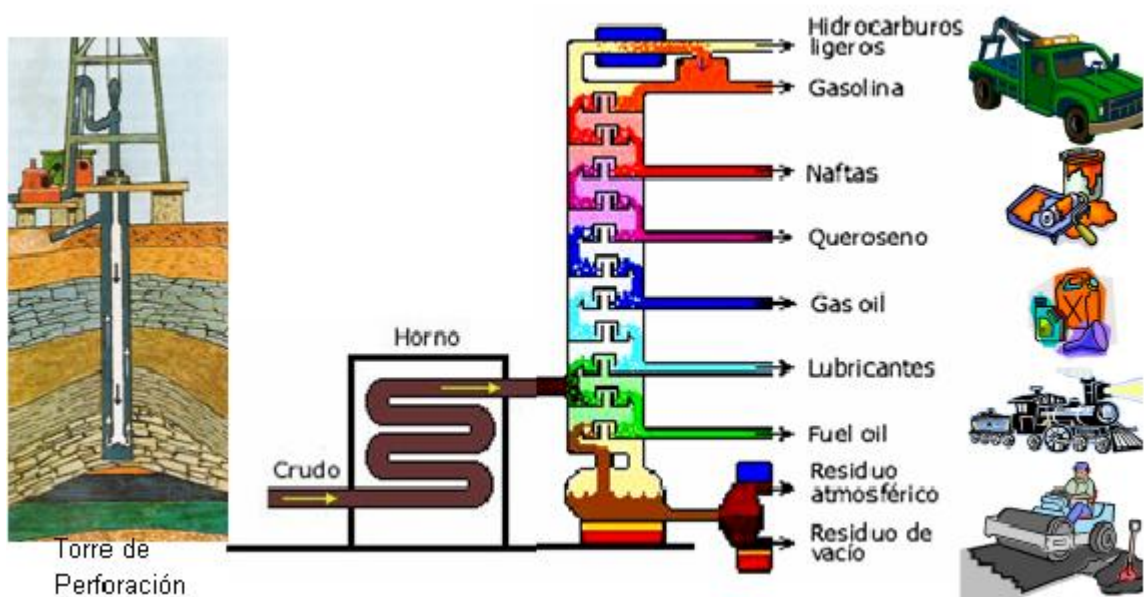
Los lubricantes son sustancias derivadas principalmente del petróleo (minerales), además de existir de origen vegetal, animal o sintético (Ver Figura 1).

Los lubricantes de origen animal y vegetal son de aplicación limitada y su costo elevado.

Los lubricantes de origen sintético no se obtienen del petróleo directamente y son creados en el laboratorio, su aplicación es muy versátil y cuentan con mejores propiedades respecto a los de origen mineral.

En la actualidad casi el 100% de los lubricantes que se utilizan son de origen mineral y sintético.

Figura 2. Torre de destilación

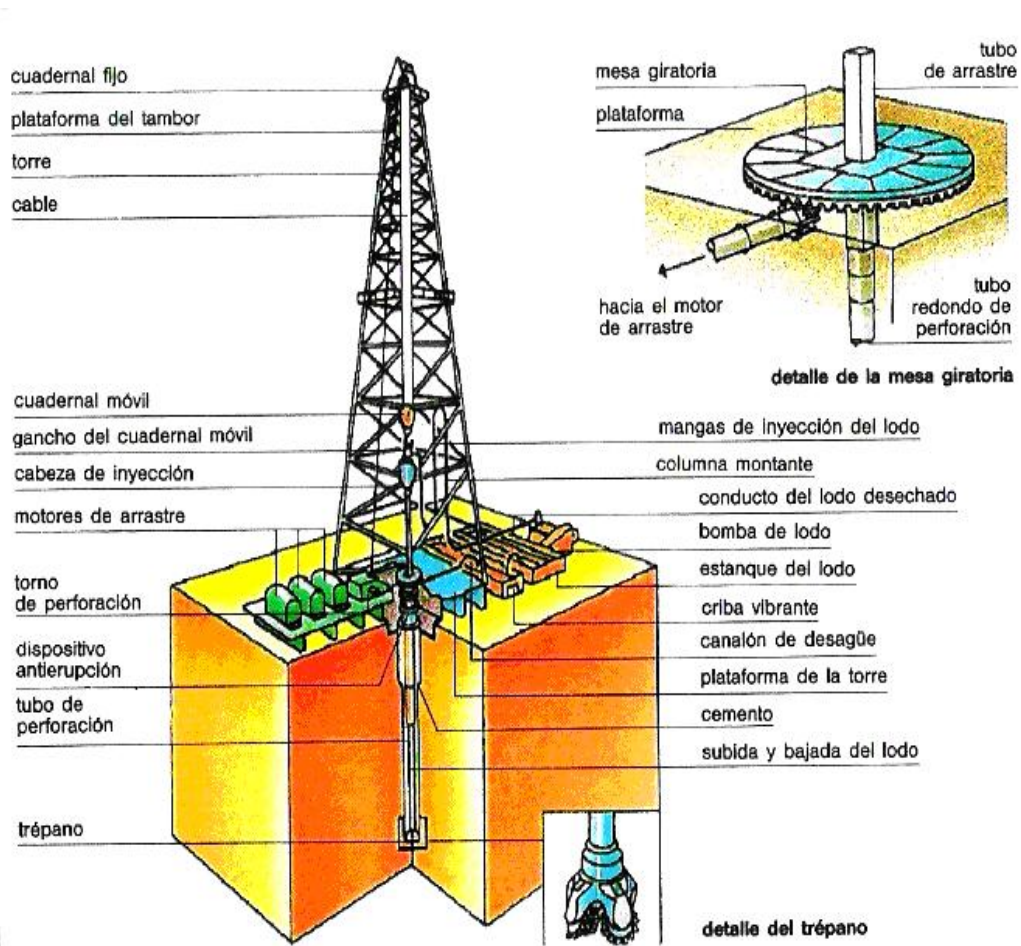


1.2.1 Lubricantes de Origen Mineral:

La sustancia básica de los lubricantes minerales es el petróleo, lo que también vale para la mayoría de los lubricantes sintéticos.

Los petróleos son mezclas de hidrocarburos con diferentes contenidos de otras sustancias según su procedencia. La composición elemental media de los petróleos es de:

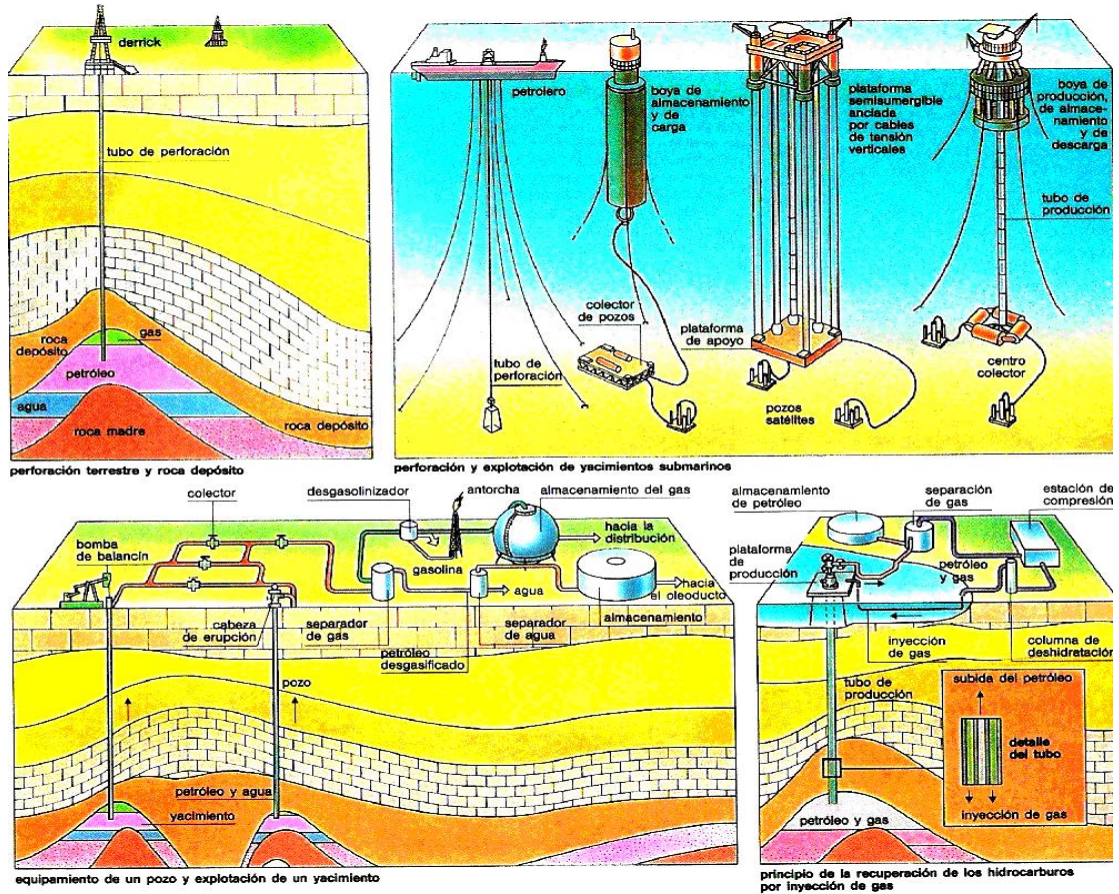
Figura 3. Torre de Perforación



perforación petrolera: principio de perforación rotary en tierra firme

- Carbono : 87%
- Hidrógeno : 15%
- Azufre : 7%
- Oxígeno : 2%
- Nitrógeno : 0.8%
- Metales : 0.1%

Figura 4. Explotación de yacimientos terrestres y marítimos



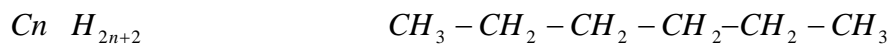
El petróleo en estado nativo no es utilizable para la generación de energía ni para otros usos. Ha de ser tratado en la refinería de petróleo, donde se somete a 4 procesos:

- Separación – Destilación.
- Transformación – Craqueo.
- Purificación – Desulfuración.
- Mezclas.

Los lubricantes son mezclas de hidrocarburos. Dado que, en la mayoría de los casos, se trata de hidrocarburos en forma de cadena o de anillo, saturados y no saturados, la clasificación de los lubricantes minerales es: parafínicos, nafténicos y aromáticos, también llamados básicos o crudos lubricantes.

❖ **Básicos parafínicos**

Constituidos por un 70 – 80 % de hidrocarburos de cadena abierta saturada, lineal o ramificada pero nunca cíclica, cuya fórmula genérica tipo es:



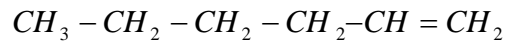
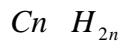
Sus principales características aprovechables son:

- Baja densidad.
- Elevado índice de viscosidad (80 – 90).
- Baja volatilidad y alta temperatura de inflamación.
- Bajo poder disolvente (elevado punto de anilina).

Se emplean por sus características físicas y químicas principalmente en la elaboración de lubricantes para motores de combustión interna, así como una gran cantidad de lubricantes industriales.

❖ **Básicos nafténicos**

Constituidos por un 70 – 80 % de hidrocarburos nafténicos, o sea, saturados con cadenas cíclicas o policíclicas muy complejas con fórmula genérica del tipo:



Las características que identifican a los básicos nafténicos son:

- Densidad relativamente elevada.
- Bajo índice de viscosidad (sobre 40).
- Mayor volatilidad que los parafínicos.
- Alto poder disolvente (miscible con bases parafínicas).
- Baja temperatura de congelación.

Se emplean principalmente para la elaboración de lubricantes utilizados en equipos que operan a bajas temperaturas.

❖ **Básicos aromáticos**

Constituidos por un 70 – 80 % de hidrocarburos aromáticos, no saturados, con una o varias cadenas laterales con una fórmula genérica del tipo:



Su empleo como lubricante es limitado o casi nulo.

Cabe señalar que existen algunos de base mixta, o sea, aquellos que poseen cualidades y constituyentes intermedios entre los de base parafínica y base nafténica.

Así mismo, es conveniente indicar que para usos prácticos las especificaciones de un aceite esencial sirven como base para identificar el tipo del crudo del cual fue extraído.

Los crudos, de acuerdo con su composición, pueden ser de base parafínica, de base nafténica y de base mixta. Los crudos de base parafínica, son designados también con el nombre de crudos de tipo Pensilvania; los crudos nafténicos pueden ser designados como crudos de la costa este de Estados Unidos; los de base mixta también son conocidos como crudos del tipo Mid-Continent.

Debido a que existe una gran variedad de tipos intermedios, no es posible hacer una línea de separación precisa entre estos tres grupos de crudos.

1.3 FABRICACIÓN DE LUBRICANTES

1.3.1 Lubricantes minerales

Los básicos más apropiados para la obtención de lubricantes son los básicos parafínicos y los básicos nafténicos, llamados también básicos o crudos lubricantes.

Las condiciones de servicio de un sistema mecánico pueden ser lo suficientemente moderadas como para que un aceite de petróleo bien refinado, por sí solo sea capaz de ejercer su función de lubricante durante períodos de tiempo razonablemente elevados, sin temor a deterioros anormales del material, o aparición prematura de fenómenos desfavorables. Sin embargo, los rápidos desarrollos experimentados en el campo de los motores de explosión y en el diseño de maquinaria industrial, con su continua tendencia a transmitir potencia cada vez mayor por medio de mecanismos cada vez más pequeños, han ido imponiendo crecientes cargas a los lubricantes. Las elevadas temperaturas, presiones y velocidades a que los mismos suelen estar sometidos en los

actuales sistemas mecánicos, hacen que raras veces los básicos minerales puros, incluso los más refinados, puedan soportar las exigencias que se les demandan, sin la incorporación de productos capaces de modificar ciertas características o el curso de algunas de las transformaciones a las que inevitablemente dan lugar las mencionadas condiciones.

Dichos productos químicos, que se incorporan generalmente en pequeñas cantidades, para mejorar el comportamiento de un aceite, en relación con una determinada aplicación, se llaman aditivos.

Una formulación típica de un lubricante especial contiene entre 10 y 15 % de aditivos, dependiendo de sus características requeridas para el uso final.

Estos aditivos son un descubrimiento relativamente reciente, desarrollados y comprobados durante la segunda guerra mundial.

Los aditivos pueden dividirse en dos grandes grupos, según los efectos que producen de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1.

1. Inhibidores destinados a retardar la degradación del aceite actuando como detergentes, dispersantes, antioxidantes y anticorrosivos.
2. Aditivos mejoradores de las cualidades básicas físicas con acción sobre el índice de viscosidad, punto de congelación, punto de fluidez, poder antiespumante, sellado, untuosidad, extrema presión y rigidez dieléctica.

Tabla 1. Principales tipos de aditivos utilizados para elaboración de lubricantes

ADITIVOS	FUNCIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA
Anticorrosivos y antioxidantes	Protegen contra corrosión y herrumbre debido al envejecimiento y deterioro destruyendo radicales libres o reaccionando con los peróxidos formados.	Ditiofosfato de zinc, éster del ácido etilfosfórico, dicloruro de etileno, compuestos fenólicos.
Detergentes y dispersantes	Dispersan la suciedad, evitando acumulación de mugre.	Compuestos organometálicos de zinc, calcio y bario con azufre, cloro y fósforo, sulfonatos, fosfonatos, carboxilatos.
Mejoradores del índice de viscosidad	Evitan cambios bruscos de viscosidad a variaciones de temperatura.	Esteres del ácido polimetacrílico, sulfonatos, fosfatos, fenatos, radicales alquílicos, salicilatos, copolímeros de metacrilatos, alquilsuccinamidas, copolímeros de acetato de vinilo.
Mejorador del punto de fluidez	Evitan el congelamiento del lubricante absorbiendo cristales de parafina.	Poli-isobutilenos, polimetacrilatos, poliacrilatos, copolímeros de acetato de vinilo, esterres de ácido fórmico, copolímeros de acrilatos, poliéster de base de estireno.
Antiespumantes	Evitan la espumación de los lubricantes reduciendo la tensión superficial.	Laureatos, oleatos, silicones, copolímeros, ceras modificadas.
Extrema presión	Forma películas resistentes para evitar contacto metal – metal.	Compuestos orgánicos y antimonio, molibdeno, azufre, fósforo y arsénico.

1.3.2 Lubricantes sintéticos

Los lubricantes sintéticos son producidos por reacciones químicas controladas en su presión, temperatura y cantidad de cada uno de sus componentes y en cada una de sus etapas de fabricación se efectúa una purificación de productos intermedios. Compuestos que se someten a reacciones catalíticas, son los que dan a los lubricantes sintéticos, características distintivas. Las materias primas son obtenidas de procesos térmicos del petróleo y del gas natural.

El etileno y sus derivados son utilizados como sustancias básicas para producir la mayoría de los lubricantes sintéticos, los cuales se desarrollan desde componentes de bajo peso molecular, formando moléculas mucho más grandes y con propiedades óptimas de comportamiento, para satisfacer condiciones de lubricación específicas.

El 98% de los lubricantes sintéticos que están en el mercado, pertenecen a cuatro grupos genéricos. Aproximadamente un 38% pertenecen a los poliglicoles, un 33% son parte de hidrocarburos sintetizados, un 22% de ésteres orgánicos y un 5% restante de ésteres fosfatados.

❖ Poliglicoles:

Los primeros lubricantes sintéticos fueron producidos con base a poliglicoles, los cuales pueden describirse como polialquilen – glicoles, se obtienen del petróleo y básicamente son polímeros de óxidos de etileno o propileno de alto peso molecular.

❖ Hidrocarburos sintetizados:

Producidos a partir de olefinas específicas a través de un proceso controlado de polimerización. Como éste selecciona y controla las estructuras químicas

requeridas, los fluidos obtenidos de hidrocarburos sintetizados en su mayoría parafínicos, tienen una mayor estabilidad que la de los productos de estructuras aromáticas y nafténicas. Las ceras son eliminadas, obteniendo puntos de fluidez muy bajos.

❖ **Ésteres orgánicos:**

Pueden ser ácidos dibásicos o del tipo poliol, ácidos dibásicos esteáricos, frecuentemente llamados diésteres. Tiene una gran compatibilidad con los aditivos, permitiendo su uso en aceites de motores de combustión interna e industriales de alta calidad. Los polioles ésteres tienen básicamente las mismas propiedades de los dibásicos con la cualidad térmica que permite extender las temperaturas de operación, a niveles mucho más altos.

❖ **Ésteres fosfatados:**

Estos ésteres inorgánicos usados con aditivos cuidadosamente seleccionados son aplicados en donde pueda existir algún riesgo de combustión, por lo tanto, son altamente resistentes al fuego y muy estables para ser aplicados como fluidos hidráulicos. La resistencia al fuego es el resultado de la adición de fosfatos en moléculas orgánicas.

Contrastando con la mayoría de compuestos orgánicos, la propiedad de resistencia al fuego se incrementa con la disminución del peso molecular precisamente por el descenso de la relación carbono – fósforo.

2. PANORAMA GENERAL DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL DESECHO DE LOS LUBRICANTES USADOS EN COLOMBIA

2.1 GENERACIÓN

La inquietud mundial sobre los desechos peligrosos como uno de los principales problemas ambientales surgió durante los años setenta como resultado de una mayor toma de conciencia con respecto a la toxicidad potencial de muchos productos químicos para el ser humano, así como su persistencia en el ambiente. Los materiales de desecho son los que ya no tienen uso directo y se descartan en forma permanente. Constituyen una categoría específica, que debido a su cantidad, concentración o características físicas, químicas o infecciosas, puede:

1. Causar un aumento de enfermedades graves, o,
2. Plantear un riesgo potencial a la salud humana o al medio ambiente cuando son tratados, almacenados, transportados, eliminados o manejados en forma indebida.

Los problemas de los desechos peligrosos tienden a ser especialmente graves en países en desarrollo en los que el sector industrial está aumentando rápidamente para mejorar las condiciones económicas, pero por ello aplazan el establecimiento de instalaciones adecuadas de tratamiento y eliminación de desechos peligrosos. El resultado global de esto producirá aumentos de los niveles de productos químicos u otros materiales peligrosos en nuestro medio ambiente.

Los desechos son generados por diferentes ramas industriales entre las que sobresalen las de celulosa y papel, química, farmacéutica, automotriz,

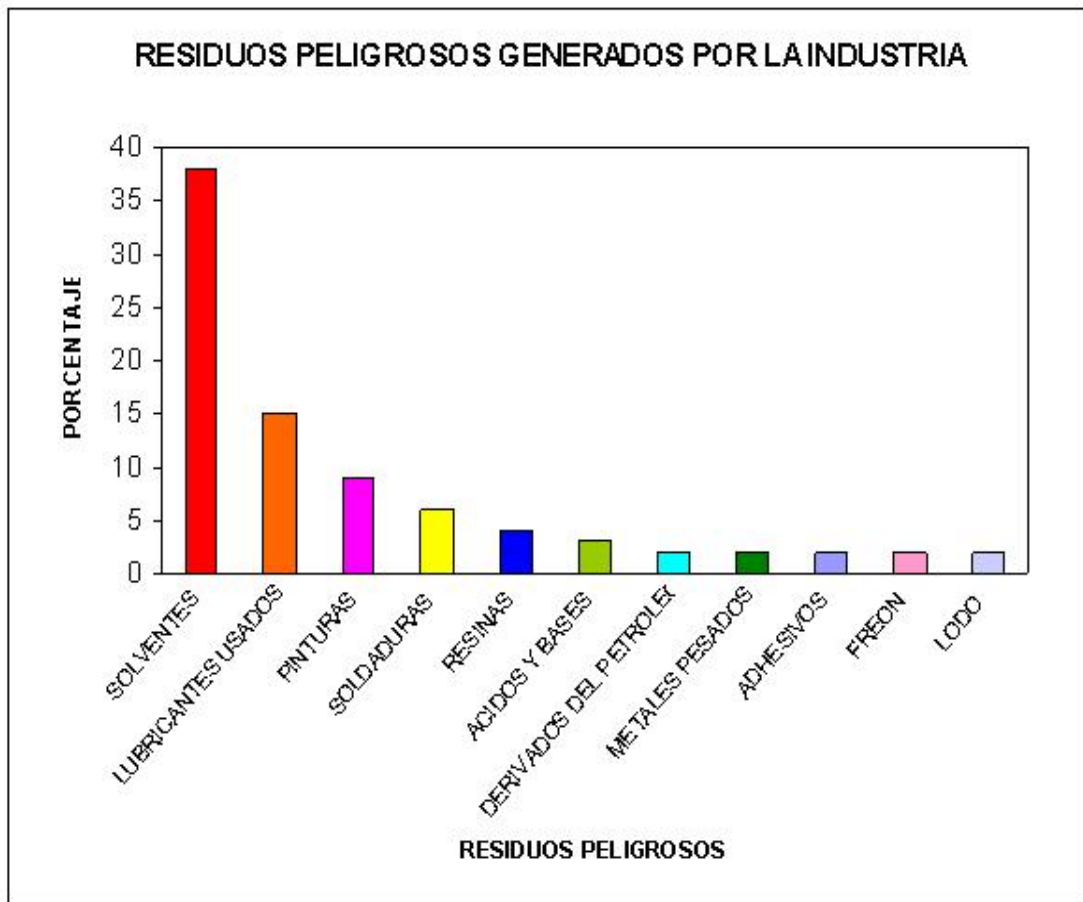
petroquímica y de refinación. Los residuos peligrosos incluyen sustancias y agentes con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológicas – infecciosas (CRETIB).

Existen múltiples tipos de industrias que utilizan diferentes materias primas y productos terminados con características fisicoquímicas y toxicológicas variadas. La diversidad y heterogeneidad de los residuos peligrosos, entonces, hace difícil el establecimiento de criterios claros para su clasificación y manejo. Entre algunas formas de ubicar a los residuos se han considerado sus características químicas o físicas. Así, se tienen aguas, breas, bases, lubricantes, colas, solventes, envases, sedimentos, cabezas, carbones activados, catalizadores, lodos, soluciones y tierras, entre otras. Lo cual es mostrado en la Figura 5.

Las grandes cantidades que se generan de lubricantes usados proceden de los motores y transmisiones de automóviles, camiones de carga o transporte público, tractores, barcos, motocicletas y en general todo vehículo motor, teniéndose además los producidos por la industria en general en proceso de maquinado o templado de metales, en la lubricación de engranajes, turbinas, compresores, al actuar como dieléctrico en interruptores, servir como fluido transmisor de presión (prensas hidráulicas) y algunos otros tipos que dentro de la industria cumplen funciones específicas.

Los lugares donde se generan lubricantes usados son: Servicios de lubricación automotor, talleres de mantenimiento automotor, vehículos de carga y pasajeros, ensambladoras de automóviles, industria pesada, minería, fundiciones, cementeras y construcción, ingenios azucareros, industria metalmecánica, talleres de mantenimiento de maquinaria agrícola, industria de plásticos, flotas pesqueras con motores diesel, hidroeléctricas, termoeléctricas, industria petroquímica y en general donde existan sistemas hidráulicos y maquinarias que requieran lubricación.

Figura 5. Residuos peligrosos generados en las industrias



2.2 IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental es entendido como “la modificación al medio ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza”. Es muy claro que la definición es muy amplia y variada, en ella se puede englobar perfectamente una gran cantidad de fenómenos.

Se dice que hay un impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración en el medio o en alguno de los componentes de los mismos. Así, la variable fundamental de estos estudios es la cuantificación de dicha alteración por su magnitud e importancia, pudiendo ser esta última positiva o negativa.

El estudio del impacto ambiental que provoca la liberación no controlada de los lubricantes (de desecho o no), es un fenómeno muy importante en la naturaleza, ya que ocasionan deterioro importante de los ecosistemas.

Para poder predecir los efectos sobre el ambiente que provocaría la liberación incontrolada de los lubricantes usados, es necesario hacer referencia a la naturaleza química de éstos.

Los elementos que conforman las diferentes moléculas de los lubricantes usados son elementos no metálicos que tienen la capacidad de formar sustancias volátiles, la mayoría son gases, líquidos, o bien sólidos de bajo punto de fusión. En consecuencia su biodisponibilidad es alta, ya que se puede absorber al respirar o por la piel. Muchos compuestos de este tipo son tóxicos: como es el caso del gas natural, LP, e hidrocarburos líquidos como las gasolinas, plaguicidas, disolventes, etc. Otros en cambio, son más usados por la industria como el perclorietileno, acrilonitrilos, benzopirenos, dioxinas, etc. Otras moléculas que pertenecen a este grupo no son tóxicas, ya que pueden ser metabolizadas por los seres vivos, como el oxígeno, los azúcares y las grasas.

El lubricante usado actúa en el medio ambiente en forma similar a los productos pesados del petróleo en las aguas, tienen la tendencia a crear películas delgadas que interfieren con la oxigenación adecuada de los ríos, lagos y embalses.

En el suelo, paulatinamente ocupa los poros impidiendo también la adecuada oxigenación de éste, matando la vida existente en estos ecosistemas. Además de irse poco a poco percolando sobre las diferentes capas del subsuelo hasta alcanzar los acuíferos en donde se dispersa y en donde puede causar mayores problemas de salud, debido a los constituyentes enumerados.

Lo anterior se complica aún más debido a los aditivos que se le incorporan a los lubricantes, el contenido de metales en sales orgánicas es alto en los lubricantes usados, creando problemas de salud por este concepto.

En las aguas negras el lubricante usado causa problemas a las plantas de tratamiento y purificación del agua, además de los siguientes:

1. Los conductos de los sistemas de alcantarillas pueden ser tapados y obstruir el flujo del agua y hacerlos más lentos o, en el peor de los casos, provocar la obstrucción total generando el derramamiento de las aguas negras.
2. Las cribas pueden ser bloqueadas en la estación de bombeo y tratamiento.
3. Las operaciones de recuperación de aceite se vuelven más problemáticas en la planta de tratamiento.
4. Las estaciones de bombeo comienzan a fallar y requieren un excesivo mantenimiento de vaciado y limpieza.
5. Los sistemas de flotación y electrodos comienzan a faltar provocando un mal funcionamiento de los sistemas de bombeo.
6. Se introduce al sistema peligro de explosión e incendio.

El uso de lubricante usado como combustible en áreas urbanas tiende a agravar la contaminación atmosférica, tanto por el humo que genera cuando la quema se efectúa en quemadores corrientes, como por la liberación a la atmósfera de los metales contenidos en solución y en suspensión.

El principal problema para el tratamiento y reciclaje de los lubricantes usados, es que son distribuidos en grandes áreas, por lo que su acopio y recolección implica la inversión de equipos de transporte y almacenamiento.

2.3 EFECTOS TOXICOLÓGICOS

La exposición a diversas formas de desechos peligrosos, puede ser por contacto directo o en forma indirecta, a través del aire, el agua o ingesta de alimentos.

El contacto directo puede afectar a varios grupos diferentes de la población como:

1. Los que trabajan en la industria y en los establecimientos de atención de salud y potencialmente, también sus familias.
2. Los que trabajan en la recepción, el transporte y la disposición de desechos, incluyendo a los segregadores de residuos en vertederos.
3. La población general, como resultado del uso de métodos inadecuados de disposición, o accidentes como explosiones, derramas, incendios, fugas, etc.

La mayoría de estas exposiciones son de índole intermitente, si bien pueden ocurrir repetidamente durante períodos prolongados.

Las exposiciones indirectas ocurren después de que los desechos peligrosos se han eliminado de una de las diversas formas, incluida la combustión que pueden causar contaminación del aire, descarga de aguas superficiales, descargas sobre el terreno o en vertederos, causa de almacenamiento, por ejemplo en tambores. Por lo tanto, diversos componentes de los desechos peligrosos

pueden introducirse en el aire, el agua, el suelo, y en última instancia en los alimentos.

Este tipo de exposición, por lo general, es continuo para las poblaciones que viven cerca de diversos sitios donde se eliminan desechos peligrosos. Como resultado de ello, sus efectos en la salud humana pueden ser de índole crónica. Otro aspecto que precisa considerarse, es que el medio ambiente, en particular el agua y el suelo, pueden ser contaminados en forma casi irreversible.

Los efectos en la salud, que son resultado de la exposición a distintas sustancias químicas, ocurren en muchas formas y órganos diferentes según el tipo de sustancia química de que se trate, la vía de exposición y la dosis que se recibe. La ingestión es la vía de exposición que se informa con mayor frecuencia en episodios de contaminación ambiental que han afectado a los sistemas hepático, renal, hematopoyético, reproductivo y nervioso central.

El tipo y la gravedad de los efectos, depende de la dosis. El contacto cutáneo directo es importante en el ámbito ocasional donde se han informado efectos dérmicos y en el sistema nervioso central, pero parece menos probable como ruta de exposición para las poblaciones que viven en los sitios aledaños de eliminación de desechos. Es poco probable que la inhalación sea importante, a menos que sea a concentraciones relativamente altas o como resultado de incendios, si bien en estudios se han notificado efectos hematopoyéticos, reproductivos y en el sistema nervioso central.

La función del hígado y los riñones a menudo se ve afectada en forma negativa cuando muchos productos químicos llegan a niveles tóxicos en el cuerpo, ya que ambos órganos actúan en el metabolismo y la excreción de productos químicos exógenos. En la Tabla 2 se ve un resumen de síndromes de hepatotoxicidad y en la Tabla 3 las concentraciones de los constituyentes más comunes en los lubricantes usados.

Tabla 2. Resumen de síndromes de hepatotoxicidad debido a agentes ambientales

MANIFESTACIÓN TÓXICA	EJEMPLOS DE PRODUCTOS TÓXICOS AMBIENTALES INFORMADOS EN EL HOMBRE
Necrosis hepática aguda o subaguda	Alifáticos clorados en altas dosis (CCLA, tetracloroetano), toxinas de las setas, micotoxinas, dosis altas de bifenilos, policlorados (PCB).
Colostasis	Dinitrofenol, Cromo.
Metamorfosis grasa leve	Dosis pequeñas de alifáticos clorados, algunos plaguicidas organoclorados.
Hipertrofia del retículo endoplásmico	Bifenilos policlorados, algunos plaguicidas organoclorados.
Enfermedad venooclusiva	Productos tóxicos vegetales (alcaloides de Pirrolidicina).
Granuloma	Berilio.
Fibrosis hepatoportal	Cloruro de vinilo, arsénico.
Cirrosis	Alifáticos clorados: aromáticos, arsénico, productos tóxicos vegetales.
Carcinoma hepatocelular	Etanol.
Angiosarcoma	Cloruro de vinilo: arsénico.

Tabla 3. Concentraciones (ppm) de constituyentes en lubricantes usados

TIPO DE LUBRICANTE USADO		
ARSÉNICO	Lubricantes y fluidos automotores promedio	Lubricantes y fluidos automotores peor caso
BARIO	12	24
CADMIO	99	326
CROMO	16	5
PLOMO	33	3
BENCENO	713	264
TRICLORO ETILENO	83	420
TETRACLOROETANO	38	100
TRICLORO ETANO	315	1700
TETRACLORO ETANO	330	2100
BENZO(A)PIRINA	38	100
BIFENILOS POLICLORADOS	16	24
	NO	3,4

Hay inquietud generalizada, tanto en el público en general como en la comunidad científica, de que la exposición a concentraciones bajas de sustancias químicas por largo tiempo, pueden causar mayor frecuencia de una variedad de cánceres. Un consenso dentro de la comunidad dedicada a la investigación sobre el cáncer, es que rara vez surge espontáneamente (sin ninguna causa conocida), y que la frecuencia de fondo del cáncer “espontáneo” se ve aumentada por muchos agentes existentes, entre los cuales figura en forma prominente el número relativamente grande de productos químicos. La sensibilidad individual a la inducción del cáncer por estos agentes parece variar según la sustancia, la edad, el sexo, la constitución genética, la alimentación y la modalidad de exposición.

La exposición a productos químicos en el medio ambiente rara vez ejerce un solo efecto en un sistema biológico, y tales sustancias pueden influir en el proceso reproductivo por cualquiera de tres modelos de acción:

1. **Genéticamente:** Al cambiar los genes mismos.
2. **Como teratógeno:** Al afectar el efecto embrionario durante la gestación.
3. **Como un producto tóxico paterno o fetal:** Al trastornar la función reproductiva o causar crecimiento fetal anormal.

Es importante destacar que, a diferencia de la mutagénesis y la carcinogénesis, la teratogénesis es un fenómeno de umbral. En consecuencia, no cabría esperar que los efectos teratogénicos aumentaran en condiciones de exposición por debajo de un umbral. Se sabe que productos químicos como el DDT, las dioxinas, la dieldrina, el captan y el carabarilo producen malformaciones en animales de laboratorio. Algunos metales, como el plomo y el mercurio, se conocen que son teratogenos en el hombre. Los compuestos industriales presentes como contaminantes ambientales pueden producir daño en la madre y

el niño, tanto directamente, como al atravesar la placenta debido a la exposición en la madre. Sin embargo, estas esferas no han sido objeto de estudio suficiente para proporcionar pruebas concluyentes sobre los efectos adversos a los niveles de dosificación bajo características de muchas exposiciones.

Los productos químicos alteran las funciones inmunológicas mediante la facilitación o supresión de actividades específicas, al perturbar el equilibrio de tipo de células maduras o intermedias, acelerando o deteniendo la maduración. El gran número y la variada naturaleza de los productos químicos capaces de alterar las respuestas del sistema inmunológico aumentan la inquietud sobre la presencia de tales productos químicos en el ambiente.

Considerando la complejidad del sistema nervioso, puede resultar una amplia variedad de cuadros clínicos, ya que ciertos productos neurotóxicos pueden mostrar propensión a afectar los nervios sensitivos, mientras que otros pueden afectar a las vías motoras, los ganglios basales, el cerebro o las neuronas cerebrales dispersas. En contraposición a los efectos a largo plazo retardados que se observan con respecto a los productos químicos más carcinogénicos, el período entre la exposición y el efecto correspondiente a un producto químico neurotóxico potencial es corto.

El déficit neuropsicológico que se ha informado en relación con la exposición a sustancias tóxicas incluye: trastornos en la inteligencia, la memoria y la solución de problemas, así como alteraciones en la atención, el funcionamiento psicomotor y el estado de ánimo.

2.4 TOXICIDAD DE LOS CONSTITUYENTES ENCONTRADOS EN LUBRICANTES USADOS

La Tabla 4 resume los datos sobre toxicidad de los constituyentes comúnmente encontrados en los lubricantes usados. Esta fue presentada por la Integrated Risk Information System (IRIS); Se ha elegido la información presentada por la IRIS, porque ha sido exhaustivamente revisada por la EPA. Se presenta la dosis de referencia oral (RfD) y la concentración de referencia por inhalación (RfC), únicamente en los casos en que está reportada. Es un marco de referencia para evaluar efectos no carcinogénicos crónicos por exposición a un tóxico determinado.

Tabla 4. Resumen de valores de toxicidad de algunos constituyentes encontrados en lubricantes usados

CONSTITUYENTE	RfD Oral (mg/Kg/día)	RfC Inhalación (mg/m ³)
Arsénico	$3.0 * 10^{-4}$	NA
Bario	$7.0 * 10^{-2}$	NA
Cadmio	$5.0 * 10^{-4}$	PENDIENTE *
Cromo VI	$5.0 * 10^{-3}$	NA
Cromo III	1	NA
Plomo	NA	NA
Benceno	PENDIENTE *	PENDIENTE *
Benzo(a)pireno	NA	NA
1.1.2.2-Tetracloroetano	PENDIENTE *	NA
1.1.2-Tricloroetano	$4.0 * 10^{-3}$	PENDIENTE *
Tetracloroetileno	$1.0 * 10^{-2}$	NA
Tricloroetileno	PENDIENTE *	NA

Todos los factores de toxicidad de esta tabla fueron encontrados en el (IRIS).

* Pendiente: Una medida de riesgo para este constituyente está corrientemente bajo revisión por un grupo de trabajo de la EPA.

2.4.1 Arsénico

La toxicidad de los compuestos de arsénico varía ampliamente dependiendo de la forma química (orgánica o inorgánica) y el estado de oxidación del arsénico. Generalmente, los compuestos trivalentes son más tóxicos que los compuestos pentavalentes.

El envenenamiento agudo por arsénico en humanos puede producir efectos gastrointestinales (náuseas, diarrea, dolor abdominal), hemólisis y desórdenes en el sistema nervioso central y periférico.

La exposición crónica está asociada con hiperpigmentación, queratosis en la piel, neuropatías periféricas, desórdenes cardiovasculares y gangrena en las extremidades. [39, 65] Permaneciendo e incrementándose con la edad y la dosis para individuos expuestos a altos niveles de arsénico en el agua de beber. Esta misma población también presentó una gran incidencia de hiperpigmentación y lesiones en la piel. De aquí que, la EPA calculó una dosis de referencia de $3.0 \cdot 10^3$ mg/kg/día para arsénico.

La inhalación por largos períodos de tiempo de compuestos inorgánicos de arsénico en humanos ha sido asociada con irritación del tracto respiratorio (incluyendo la perforación del septo nasal). Sin embargo, no ha sido determinada la concentración de referencia por inhalación todavía.

Se ha encontrado que el arsénico es embriotóxico, fototóxico y teratogénico en algunas especies animales después de la administración parenteral. Sin embargo, otros estudios han mostrado mínimos o ningún efecto excepto a altas dosis y cuando son administrados en el agua de beber.

El arsénico es considerado un carcinogénico en humanos del grupo A. Esta categoría es para agentes en donde existe suficiente evidencia para sustentar la asociación casual entre la exposición humana a los agentes y el cáncer. Estudios epidemiológicos han mostrado que la inhalación de arsénico está fuertemente asociada con el cáncer de pulmón y tal vez con angiosarcoma hepático. La ingestión de arsénico ha sido ligada a una forma de cáncer de piel y más recientemente a cáncer de vejiga, hígado y pulmón.

Los estándares para agua de primer uso para beber con contenido de arsénico según EPA son de 50µg/L. Este valor fue establecido como un valor máximo para arsénico en agua de beber por la U.S. Public Helth Service en 1941, y continua usándose en las regulaciones que la EPA establece.

La oficina encargada del agua de consumo de la EPA está considerando mantener el presente valor máximo de contaminación para arsénico en fuentes de agua de consumo municipales, y ha propuesto, un máximo valor objetivo de 50µg/L basados en evidencias de que el arsénico es un micronutriente.

2.4.2 Bario

La toxicidad del bario es altamente dependiente de las características individuales de sus sales. Las sales insolubles de bario, tales como el sulfato, son pobremente absorbidas después de la inhalación o exposición oral. Como resultado, tales sales tienen baja toxicidad. En contraste, las sales solubles de bario (acetato, carbonato, cloratos, hidróxidos, nitratos, óxidos o sulfuros) son rápidamente absorbidas y son tóxicas tanto por vía oral como por rutas de inhalación. El hidróxido y óxido de bario son fuertemente alcalinos en solución acuosa y la exposición dérmica puede conducir a una severa irritación de piel y ojos.

El envenenamiento accidental o por motivos de suicidio en humanos con sales solubles de bario provoca primero un envenenamiento de la musculatura (debido a que el bario produce deficiencia de potasio). Los efectos en la musculatura están caracterizados por una estimulación inicial, la cual es seguida por una parálisis muscular. Los síntomas iniciales incluyen efectos gastrointestinales (náuseas, vómito, contracciones musculares y diarrea). Sigue una estimulación muscular y del miocardio (hormigueo en las extremidades).

En casos severos, pérdida de los reflejos del tendón, fibrilación cardíaca y puede ocurrir parálisis muscular. También puede sobrevenir la muerte como consecuencia de las modificaciones cardíacas o por parálisis respiratoria. También han sido observados hipertensión y fallo renal después de la exposición aguda de humanos a altos niveles de sales solubles de bario.

Estudios en animales también sugieren que puede ocurrir hipertensión y anomalías en el ritmo cardíaco por exposición crónica. La exposición de humanos por largos períodos no produce efectos similares. El efecto en el desarrollo y ciclo reproductivo de los efectos del bario no han sido revisados adecuadamente. Sin embargo, algunos estudios en animales indican que el bario puede ser una toxina para el desarrollo y ciclo reproductivo.

Los primeros efectos observados en trabajadores después de la inhalación de polvo con sales insolubles de bario, sulfato de bario, comenzó con una pneumonocosis (barítosis).

La función del pulmón y la probabilidad de desarrollar enfermedades respiratorias no fueron afectadas por la presencia de la pneumoconosis.

La EPA ha calculado una dosis de referencia RfD de $7 \cdot 10^{-2}$ mg/Kg/día de bario basado en la ausencia de efectos en sangre observados en dos estudios que examinaron grupos expuestos a bario en agua para beber.

El estándar para el agua de beber para el bario según la EPA es de 1.0 mg/L. Este es un valor interino establecido en 1980. Un MCLG para el bario en agua de beber es de 1.5 mg/L ha sido propuesto en 1985. El MCLG está basado en efectos hipertensivos y cardiotoxicos observados en ratas.

2.4.3 Cadmio

Los efectos agudos por la exposición a cadmio están primeramente asociados con irritación local tisular. Por ejemplo, la exposición aguda por inhalación de polvo de cadmio o humos causa irritación de los tejidos del tracto respiratorio y puede generar un síndrome que se asemeja a la fiebre por humos de metal (fiebre, dolor de cabeza, disnea, dolor de pecho pleurítico, rinitis, dolor de garganta, tos).

Estos efectos pueden no aparecer por varias horas después de la exposición. En casos severos, se puede desarrollar edema pulmonar fatal. Similarmente, el cadmio también irrita el tracto gastrointestinal y la ingestión de alimentos contaminados con cadmio está asociada con la aparición de náuseas, vómito, salivación, dolor abdominal y diarrea.

El cadmio se puede acumular primeramente en el hígado y piel durante largas exposiciones, y disfunción renal (progresiva disminución de la filtración glomerular) parece ser el primer efecto tóxico asociado con la inhalación crónica y la exposición oral.

La prolongada inhalación de vapores de cadmio provoca también disfunción pulmonar y enfisema. También ha sido reportado en personas expuestas por inhalación o exposición oral, severo dolor de huesos y osteomalasia (posiblemente asociada con una disrupción del metabolismo renal de la vitamina D). Estudios en animales han demostrado que la exposición crónica a cadmio

también puede estar asociada con hipertensión, anemia, inmunomodulación. Sin embargo, los datos existentes sobre los efectos en humanos son contradictorios y están limitados. El desarrollo neuropsicológico puede ser afectado en los trabajadores expuestos y el desarrollo neurológico parece ser sensible también en animales. Otros efectos sobre el desarrollo en animales han sido observados a niveles altos de cadmio e incluye la disminución de peso corporal y malformaciones del esqueleto.

La EPA ha clasificado al cadmio como un carcinógeno del grupo B1 (probable carcinógeno humano) por inhalación. Se ha observado en ratas una fuerte asociación entre tumores de pulmón y la inhalación de cadmio, también en estudios epidemiológicos se han observado evidencias limitadas de un incremento de tumores entre trabajadores expuestos ocasionalmente.

Fue estimada una unidad de $1.8 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{Kg}/\text{día})^{-1}$ la cual fue obtenida por la EPA en base a la incidencia en pulmón, traquea, muerte por cáncer bronquial, entre trabajadores expuestos a óxido de cadmio y humos de cadmio en los estudios realizados por Thun. Este valor es equivalente a un factor pendiente de $6.1 (\text{mg}/\text{Kg}/\text{día})^{-1}$.

También han sido asociados a la exposición de cadmio cánceres de próstata, aunque estudios más recientes no sustentan tal aseveración.

El estándar para agua de beber según la EPA para cadmio es de $5 \mu\text{g}/\text{L}$ EPA. Este valor es equivalente al MCLG para cadmio en agua de beber y está basado en toxicidad renal en humanos.

2.4.4 Cromo

El cromo puede tener varios estados de oxidación. Las propiedades biológicas de los compuestos de cromo dependen del estado de oxidación y solubilidad en agua del compuesto. El cromo hexavalente [Cr (VI)] es el más tóxico.

El cromo es un nutriente esencial para el metabolismo de la glucosa y una exposición oral a niveles bajos de compuestos de cromo no ha sido asociada con ser el causante de toxicidad sistémica. Sin embargo, este cromo es un fuerte oxidante, lo cual contribuye a sus propiedades irritantes y tóxicas.

Estudios de exposición aguda de humanos y animales usando una variedad de rutas de administración han indicado que los compuestos solubles de Cr (VI) y Cr (III) pueden producir daño en el hígado y riñón, aunque los niveles de dosis empleados fueron relativamente altos.

La exposición dérmica a ácido crómico o sales de Cr (VI) pueden causar dermatitis por contacto, sensibilidad y ulceración en la piel. La inhalación crónica a polvos de una sal de cromo (VI) puede causar problemas respiratorios incluyendo irritación y úlcera septonasal.

Se han establecido claramente estudios epidemiológicos en poblaciones de trabajadores que el Cr (VI) inhalado es un carcinógeno humano en vías respiratorias y pulmones como órganos blancos.

La EPA clasificó al Cr (VI) inhalado como un carcinógeno del grupo A.

2.4.5 Plomo

El plomo tiene diversos efectos biológicos en humanos y animales. Sus efectos son vistos a nivel subcelular de estructuras y procesos, así como a nivel general

del funcionamiento del cuerpo. Existen muchos datos sobre los efectos a exposición al plomo en humanos, pero están generalmente relacionados a nivel de plomo en sangre en comparación a una exposición estimada.

Los principales efectos tóxicos causados por la exposición a plomo son las alteraciones del sistema hematopoyético y nervioso. La exposición a plomo causa anemia por la inhibición del grupo hemo, lo cual puede tener efectos deletéreos en otras proteínas que contiene el grupo hemo, tales como el citocromo P450, el cual destoxifica ciertos compuestos químicos en el cuerpo. Han sido reportados problemas de la síntesis de hemo en adultos a niveles menores de 50 µg/dL de plomo en sangre.

Los niveles de plomo sanguíneo de más de 80 µg/dL en niños y más de 100 µg/dL en adultos sensibles puede causar un severo e irreversible daño a cerebro, encefalopatía y posiblemente la muerte. En niños, permanente disminución de la capacidad de aprendizaje ha sido vista a esos niveles aún sin otros signos de envenenamiento por plomo.

Otros efectos adversos están asociados con la exposición a bajos niveles de plomo. Han sido observadas lentas conducciones nerviosas en adultos a 30-40 µg/dL, alteración en la función testicular en hombres y disfunción renal.

La EPA ha clasificado al plomo como un probable carcinógeno del grupo B2, teniendo inadecuada evidencia de carcinogenicidad de estudios en humanos pero suficiente evidencia de estudios en animales. Algunos estudios epidemiológicos extensivos no han mostrado asociación entre la exposición a plomo y un incremento en la incidencia de tumores en trabajadores expuestos ocasionalmente.

El MCLG está basado sobre los efectos del plomo en la salud de infantes y mujeres embarazadas como una población sensible. Han sido encontrados efectos adversos en infantes con niveles de sangre menores a 10 µg/dL.

No se evaluaron muestras para períodos crónicos o subcrónicos ni para inhalación o ingestión oral en el Health Effects Assessment Document debido a que la población en general está rápidamente incrementando su exposición a través de los alimentos, agua y polvo. Cualquier incremento significativo a la exposición de fondo podría representar un factor de interés.

2.4.6 Benceno

Los efectos tóxicos de vapores de benceno en humanos y otros animales incluyen depresión del sistema nervioso central y supresión de tuétano en los huesos, provocando anemia y depresión del sistema inmune.

La exposición crónica a vapores de benceno en humanos y animales puede causar continuos cambios de los elementos circulatorios de la sangre así como los precursores del tuétano en los huesos. Puede ocurrir también leucopenia, trombocitopenia, anemia o una combinación de ellas. La exposición por largos períodos de tiempo puede provocar pancitopenia, la cual resulta de la toxicidad del tuétano del hueso y se considera como la etapa irreversible de la enfermedad.

La depresión del sistema inmune por benceno es bien conocida. La disminución de anticuerpos séricos (IgG y IgA) en trabajadores expuestos a benceno (concentraciones de exposición no especificadas) han sido reportadas. Además, se ha demostrado que la administración de benceno a ratones in vivo inhibe la función de linfocitos T y E in Vitro. Estas observaciones, así como la bien conocida habilidad del benceno de disminuir los leucocitos, pueden explicar porque los individuos expuestos a benceno rápidamente sucumben a

infecciones y eventos terminales ya que la toxicidad del benceno por exposición crónica es frecuentemente una aplastante infección.

Una serie de estudios epidemiológicos, tanto del caso control como de la serie, mostraron significativa asociación estadística entre leucemia y exposición por inhalación ocasional, concentraciones no especificadas a benceno.

La carcinogenicidad del benceno ha sido estudiada en ratas y ratones por varias rutas de exposición. En estudios con un tiempo prolongado por inhalación, el benceno ha sido asociado a carcinoma de glándula de Zymbal, carcinomas de la cavidad nasal y oral, carcinoma en piel, acantomas, carcinoma de estómago anterior, carcinoma en glándulas mamarias, angiosarcomas en hígado, hematomas y tumores pulmonares y hemolimpenticular.

La EPA ha clasificado al benceno como un carcinógeno humano del grupo A y ha calculado un factor pendiente para benceno de $0.029 \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ para la exposición oral y por inhalación derivados de estudios epidemiológicos en humanos, en los cuales un incremento en la incidencia significativa de leucemia fue observada en trabajadores expuestos a benceno, principalmente por inhalación.

El máximo nivel de contaminante permitido es de 0.005 mg/L.

2.4.7 Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)

Los efectos agudos por contacto directo con PAHs y materiales relacionados están asociados a la fototoxicidad. La primera respuesta fototóxica es dermatitis enrojecimiento de la piel, hormigueo e inflamación, y resulta de una sola exposición de 90 minutos de una solución de carbón de alquitrán de 1%. Esa dermatosis normalmente desaparece cuando el contacto con el material es eliminado. Dermatitis similares han sido observadas en la piel de ratón después

de la aplicación dérmica de un PAH carcinogénico. Los PAHs carcinogénicos también han mostrado tener un efecto inmunosupresor en animales. Los PAHs también han mostrado provocar citotoxicidad en células que proliferan rápidamente en el cuerpo; el sistema hematopoyético y linfático son frecuentemente blancos.

La carcinogenicidad es el efecto tóxico más importante de la salud pública después de la exposición a materiales que contienen PAHs carcinogénicos. Algunos PAHs han mostrado ser potentes carcinógenos, produciendo tumores tanto en el sitio de aplicación y sistemáticamente en algunas de las diferentes especies animales cuando son administrados por cualquier vía reportaron tumores gástricos, adenomas pulmonares y leucemia en ratones alimentados con benzo(a) pireno. Algunos PAHs han mostrado causar tumores en pulmón e instalación intratraqueal tanto en ratones como en hámster.

Para propósitos prácticos los PAHs son frecuentemente clasificados en dos categorías, los carcinogénicos y los no carcinogénicos. Aunque es importante acotar que muchos de los PAHs del grupo no carcinogénico han mostrado tener una débil potencia carcinogénica o por lo menos, actuar como promotores carcinogénicos.

Una clasificación más exacta debería diferenciar entre carcinógenos potentes, carcinógenos débiles y no carcinógenos. Otro factor que complica la medida de riesgo de los PAHs es que ellos no se encuentran solos en la naturaleza, sino que existen como mezclas complejas que contiene diferentes PAHs de variada potencia carcinogénica. Las potenciales interacciones de un PAH individual presente como componentes de esa mezcla pueden ser dirigidas para intentar cuantificar el riesgo carcinogénico existente por la exposición de las mezclas.

El acercamiento adoptado por la EPA como base para la medición de riesgo es aplicar el efecto pendiente calculado de ensayos sobre benzo(a) pireno a la

subclase de PAHs carcinogénicos en la mezcla que ha sido medida. Este acercamiento involucra tres suposiciones:

1. Que todos los PAHs carcinogénicos tienen la misma potencia que el benzo(a)pireno;
2. Que sus efectos son aditivos;
3. Que los PAHs no carcinogénicos no contribuyen a los efectos carcinogénicos de la mezcla.

Aunque hay limitada experiencia empírica para sustentar las suposiciones 2 y 3, esto puede provocar una sobreestimación del riesgo debido a que el benzo(a)pireno es uno de los más potentes carcinógenos entre los PAHs y está usualmente presente en pequeños porcentajes del total de la mezcla.

El benzo(a)pireno es un representativo de los PAHs carcinogénicos y está clasificado por la EPA en el grupo B2 carcinógenos humanos probables basados en suficiente evidencia de estudios carcinogénicos en animales y evidencia de estudios epidemiológicos.

La EPA calculó un valor de $5.79 \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ como el factor pendiente para una exposición oral a los PAHs carcinogénicos basados en la medida geométrica de varios factores pendientes calculados usando datos de Neal y Rigdom. En los cuales la administración de benzo(a)pireno produjo tumores al estómago anterior en ratones y ratas. Muy pocos PAHs carcinogénicos son tan potentes como el benzo(a)pireno. Por lo tanto un factor de equivalencia de toxicidad ha sido desarrollado y aplicado a datos de bioensayos tumorales para otros PAHs. Esto resultará en factores pendientes para otros PAHs que son mucho menos tóxicos que el benzo(a)pireno.

La IARC revisando la carcinogenicidad de los PAHs indicó aquellos para los cuales existe limitada, inadecuada o adecuada negativa evidencia para carcinogenicidad. Los más potentes carcinógenos son casi todos incluidos en el grupo para los cuales hay suficiente evidencia sobre sus propiedades carcinogénicas.

2.4.8 Tetracloroetano

El primer efecto tóxico después de su exposición es la depresión del sistema nervioso central. La inhalación aguda por vía oral y/o exposición dérmica de humanos a altos niveles de éste ha provocado dolor de cabeza, vértigo e inconsciencia. A niveles de exposición altos puede ocurrir daño hepatocelular.

La exposición por largos períodos de tiempo al tóxico provoca principalmente efectos sobre el sistema nervioso, el gastrointestinal y hepático.

Este tóxico es uno de los hepatotóxicos más potentes de todos los solventes hidrocarbonatos clorados. También ha sido reportada cirrosis hepática y hepatitis (caracterizada por hepatomegalia e ictericia) en muchos casos de exposición ocasional. También han sido reportados casos de náuseas, vómito, anorexia, constipación y dolor abdominal. Los efectos neurológicos predominantes después de la exposición ocasional crónica incluye dolor de cabeza, temblores, letargia y parestesia. Estudios en animales mostraron que la hemoglobina, hematocrito y conteo de glóbulos blancos puede ser afectada por la exposición.

La EPA ha clasificado a este tóxico como un carcinógeno del grupo C (posible carcinógeno humano) basados en un incremento en la incidencia de carcinomas hepatocelular en machos y hembras de ratones a los que se les administró el tóxico. No fueron detectados datos de carcinogenicidad en humanos.

2.4.9 Tricloroetano

Los primeros efectos tóxicos después de la exposición aguda a 1,1,2-tricloroetano son depresión del sistema nervioso central, toxicidad hepática.

Estudios en animales indican que la inhalación aguda de altos niveles del tóxico provoca un estado de anestesia que puede preceder a una parálisis respiratoria y muerte a niveles altos de exposición. Concentraciones narcóticas son irritantes a los ojos y mucosas respiratorias. También han sido observados irritación gastrointestinal, vómito en animales después de largas dosis orales y hepatotoxicidad por algunos meses. Algunos estudios en animales también sugieren que algunos aspectos de la función inmune pueden ser afectados por la exposición subcrónica.

La EPA lo clasificó como un carcinógeno del grupo C (posible carcinógeno humano) basados en carcinomas hepatocelulares feocromocitomas en una clase de ratón.

2.4.10 Tetracloroetileno

El tetracloroetileno es un depresor del sistema nervioso central que puede causar dolor de cabeza, falta de coordinación o inconsciencia después de la inhalación aguda o exposición oral.

La exposición a vapores con altos niveles de este tóxico irrita también los ojos y los tejidos del sistema respiratorio. El contacto directo con la piel puede provocar enrojecimiento, formación de ampollas y quemaduras de la piel. La exposición aguda por inhalación de humanos a altos niveles ha provocado casos de toxicidad renal. Han sido reportados casos aislados de arritmia cardíaca de personas expuestas a este tóxico.

La exposición ocasional crónica provoca hepatotoxicidad.

Estudios recientes indican que la exposición ocasional a este tóxico puede provocar encefalopatía crónica. No existen datos disponibles en humanos con relación al desarrollo de toxicidad. La exposición ocasional crónica ha sido asociada con alteraciones menstruales y un incremento en los casos de aborto según algunos estudios.

El estándar para agua de beber según la EPA para tetracloroetileno es de 0.005 mg/L.

2.4.11 Tricloroetileno

El tricloroetileno es un depresor del sistema nervioso central y la exposición oral o por inhalación a altas concentraciones provoca dolor de cabeza, somnolencia, euforia, vértigo, confusión o inconsciencia.

En casos extremos, puede ocurrir fallo respiratorio fatal. También ha sido atribuida la muerte después de la exposición a tricloroetileno y arritmia cardiaca (debido probablemente a la sensibilización del corazón a la acción de la adrenalina). Tanto la exposición aguda como la crónica han sido asociadas a neuropatías del nervio craneal.

También han sido reportados náuseas y vómito después de largos períodos de inhalación o exposición oral. Una respuesta de enrojecimiento de la cara y cuello han sido reportados después del consumo de alcohol cercanamente después de la exposición a tricloroetileno. El tricloroetileno ha sido usado una vez como anestésico y no se ha observado que tenga toxicidad marcada hepática o renal después de la exposición aguda. Sin embargo, en algunos casos se ha reportado toxicidad hepática después de la exposición por inhalación de humanos a niveles muy altos. Estudios en animales indican que la exposición

aguda por inhalación a niveles extremadamente altos puede provocar toxicidad renal.

La EPA ha clasificado originalmente al tricloroetileno como un carcinógeno del grupo B (probable carcinógeno humano) y ha desarrollado factores de riesgo por inhalación e ingestión. Sin embargo, la EPA ha sacado su medida de carcinogenicidad original para tricloroetileno.

El estándar para el agua de beber según la EPA es de 5 µg/L.

3. MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS LUBRICANTES USADOS

Todo lubricante sufre, de una manera más o menos rápida, una serie de modificaciones que produce su envejecimiento y deterioro. Son debidas, principalmente, a factores extraños al lubricante o a la oxidación.

Los factores extraños al lubricante, como por ejemplo: polvo, polvo metálico o de los cojinetes, fibras textiles, agua, etc., pueden considerarse como causas inevitables por el servicio que prestan.

En los lubricantes destinados a la lubricación de motores de explosión y diesel, señalaremos en primer lugar la dilución del lubricante por residuos de combustible mal quemado, lo que ocasiona una reducción gradual de la viscosidad y la capacidad lubricante (un 1% de combustible rebaja un 10% de viscosidad del lubricante). A la dilución citada hay que añadir el agua en el cárter, la carbonilla, la acción de gases corrosivos, las temperaturas excesivas, etc.

La acción del aire, los calentamientos más o menos intensos y el contacto con metales producen la oxidación y descomposición de los componentes no saturados del lubricante.

La oxidación y envejecimiento de un lubricante se manifiestan por cambios en su color y olor, por un aumento en su índice de acidez, así como por la formación de materias resinosas y asfálticas, precipitación de gomosidades y lacas.

Un lubricante oxidado pierde su capacidad para separarse del agua, es decir, se emulsiona con ella. Es por esta razón que un lubricante de calidad debe

presentar una buena resistencia a la oxidación, lo que permitirá una mayor vida del lubricante y una mejor conservación del mecanismo, al evitar la formación de sustancias ácidas corrosivas, que con gran facilidad atacan a metales tan comunes en maquinaria y motores, como las aleaciones de cobre – plomo y cadmio – plata con que están elaborados muchos de los cojinetes de motores diesel.

Existe en el mundo una gran variedad de procesos para el manejo de lubricantes usados. En particular, hay una gran diversidad de sistemas que pueden ser empleados para tratar estos materiales con el propósito de reciclarlos, produciendo nuevamente lubricantes base, para aprovechar la energía térmica contenida en los mismos, o para aprovecharlos como materia prima en otros procesos.

Los lubricantes usados son un perfecto ejemplo del reducido subconjunto de residuos peligrosos que son susceptibles de ser reciclados para obtener un producto similar al material original en cuando a sus propiedades. La obtención de un lubricante básico a partir de un lubricando usado contribuye a retomar un residuo al ciclo productivo, sustituyendo en parte el uso de materias primas vírgenes.

Las principales tecnologías disponibles actualmente en el orden internacional para el manejo adecuado de lubricantes usados y que involucran el aprovechamiento de estos materiales y que se muestran en la Figura 4 son:

1. La re-refinación de lubricantes,
2. La utilización de los lubricantes usados como combustible en hornos de cemento para recuperar su contenido calorífico, y

3. Otras opciones posibles para el aprovechamiento de los lubricantes como materia prima en procesos industriales.

En forma adicional existen otras opciones para el manejo de lubricantes usados, tales como la disposición final en un confinamiento controlado, su aprovechamiento en ladrilleras como combustible, y su mezclado con combustóleo o gasóleo para su quema en calderas y generadores de vapor industriales que carecen de controles adecuados de emisiones atmosféricas.

3.1 RECICLAJE

A continuación se describen las tecnologías desarrolladas actualmente en el mundo para el tratamiento de lubricantes usados. En primera instancia, se enuncian los tratamientos que son aplicados mediante métodos físicos, químicos y/o eléctricos, con el fin de separar el agua y los sólidos presentes. Posteriormente se describen los métodos térmicos como son la destilación o la evaporación de agua e hidrocarburos ligeros. Por último, se describen en forma resumida los procesos de re-refinación existentes, tanto los que son utilizados actualmente, como los que están siendo desarrollados a nivel de laboratorio. Así mismo, se incluye información referente a los lubricantes minerales residuales usados, generados durante los procesos de almacenamiento, tratamiento y/o manejo de los lubricantes, petróleo, graso y orgánico inmiscibles en general.

3.1.1 Pretratamiento de lubricantes para reciclaje

❖ Tratamiento de emulsiones

Estos tratamientos, que pueden ser tanto físicos, como químicos o eléctricos, tienen por objeto separar el agua y los sólidos de los lubricantes. Como principio, tenemos que las emulsiones son mezclas líquidas de pequeñas cantidades de material graso físicamente estables. Existen emulsiones naturales (como el caso

de la leche), como resultado de un mezclado fuerte y profundo de residuos grasos y agua, o finalmente, producidas en forma artificial, como lo es la maquinaria de corte que utiliza “lubricante soluble en agua” o jabonaduras con contenido de ácidos grasos. En muy raras ocasiones se puede encontrar un residuo de agua – lubricante, donde el lubricante se encuentre separado del agua. En la realidad, en los residuos acuosos se encuentra un lecho de lubricantes “puros”, una interfase emulsionada de agua – lubricante y una última de agua relativamente “pura”.

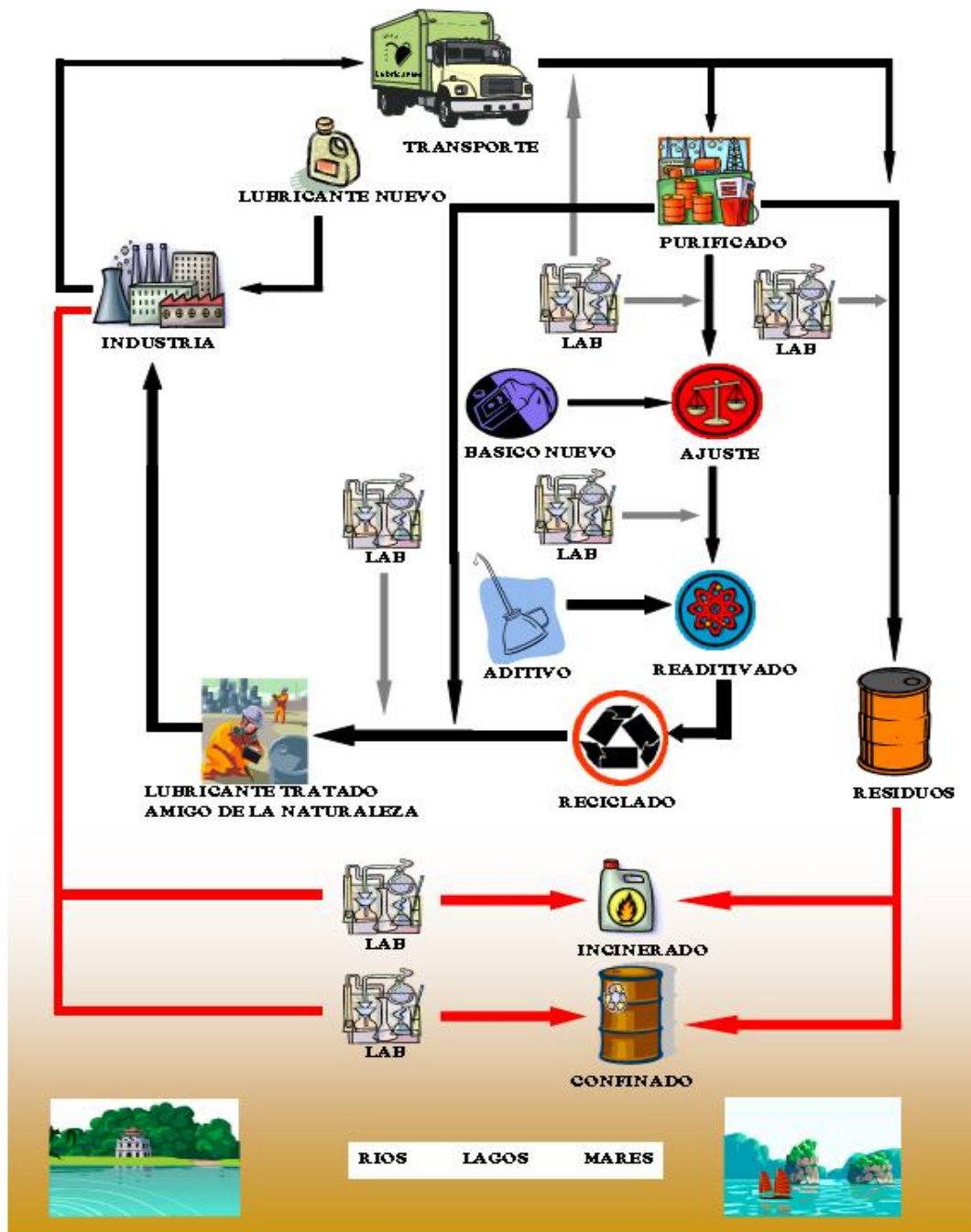
Estos residuos deberán ser tratados por métodos físicos y por último, una vez separada en dos fases discretas de agua y lubricante, el residuo es procesado mediante tratamientos secundarios.

El rompimiento de emulsiones, se puede llevar a cabo por métodos químicos, físicos y eléctricos, de los cuales los métodos químicos, son los más comúnmente utilizados. Sin embargo, no se tienen especificaciones precisas de tratamiento debido a la gran variedad de emulsiones aceitosas con diferentes concentraciones y características, así como de la presencia de otros materiales, tales como tensoactivos y sólidos que afectan la estabilidad de la emulsión.

La desemulsificación por métodos químicos consiste en la adición de altas concentraciones de sales ionizantes, tales como las sales de aluminio o de hierro, las cuales son particularmente efectivas así como de ácidos, como el ácido sulfúrico, el cual rompe el equilibrio de la dispersión en la emulsión y permite el goteo y unión de la fase aceitosa.

Usualmente se requiere una concentración del 2% en peso de ácido para lograr la separación. En términos generales, para romper una emulsión se requiere utilizar un agente reactivo altamente soluble en el medio acuoso. Sin embargo, debido al costo de los reactivos químicos el método resulta poco rentable.

Figura 6. Métodos de tratamiento de lubricantes usados



La desemulsificación química puede ser combinada con métodos físicos o electrolíticos con el fin de incrementar la eficiencia. Algunas emulsiones particularmente difíciles de tratar pueden ser minerales.

Una vez que se ha conseguido el rompimiento de la emulsión, ésta será separada en dos fases, agua y lubricante. Uno de los métodos más comúnmente utilizados para la separación es mediante la inyección de aire presurizado en el residuo a tratar. Cuando éste es liberado adquiere la presión atmosférica expandiéndose en el medio y formando burbujas que acarrearán las gotas de lubricante a la superficie. El lubricante forma en la superficie una nata que es separada mediante un desnatador. Se pueden adicionar floculantes químicos como sales o polielectrolíticos para incrementar la eficiencia en la aireación. Otra alternativa más, es la de hacer pasar al residuo a través de un lecho filtrante fibroso con propiedades hidrofóbicas. O bien, simplemente por sedimentación cuando la emulsión no se encuentra establemente equilibrada.

Por último, el agua extraída contiene concentraciones remanentes de lubricantes que deben ser removidas mediante tratamiento biológico. Así mismo, el aceite extraído del residuo deberá ser tratado por métodos físicos o químicos, como es el caso de la centrifugación o redestilación.

Para el tratamiento de residuos aceitosos, se deberá diseñar el tren de tratamiento cuidando de las características del residuo y combinando los métodos de desemulsificación y separación de las fases.

Un residuo acuoso con contenido de materiales orgánicos inmiscibles, es usualmente referido como un “residuo aceitoso”. Existen distintas etapas para el tratamiento de estos residuos, la primera etapa o tratamiento primario consiste en remover el aceite “puro” que se encuentra flotando en la superficie, mediante métodos físicos. El tratamiento secundario rompe la estabilidad de las

emulsiones permitiendo la separación de las fases para extraer el aceite remanente.

En el tratamiento primario se utiliza la fuerza gravitacional para la separación de las fases por medio de la diferencia de pesos específicos entre el agua y el lubricante. A menor diferencia en los pesos gravitacionales se requiere un mayor tiempo de retención en el tratamiento. Por otro lado, influye también el grado de separación del lubricante. Estos son factores importantes a considerar en el diseño de los tanques de sedimentación con el fin de darle el tamaño y forma adecuada, llegándose a obtener hasta un 99% de eficiencia en la separación.

Los sedimentadores / separadores comúnmente utilizados son el interceptor de platos paralelos y el API. El separador API consiste de un desnatador que separa el lubricante de un caudal de agua pequeño, donde se permite que las gotas de lubricante emerjan a la superficie por diferencia de pesos específicos. Por otro lado, en el fondo se sedimentan los lodos y sólidos contenidos en el residuo, los cuales son removidos continuamente mediante el uso de rastras. El interceptor de platos paralelos consiste de un arreglo de platos alineados e inclinados en paralelo en la dirección del flujo. Las gotas o porciones de aceite chocan contra los platos y son forzados a descender por la corriente de agua hasta que logran pasar por debajo del plato inclinado y entonces es cuando emergen formando una nata de lubricante en la superficie.

Un mecanismo modificado de platos paralelos es el de los platos corrugados (CPI), los cuales se encuentran dispuestos transversalmente en el flujo. La inclinación del corrugado permite la adhesión de las gotas de lubricante al chocar y la flotación de éste en la superficie. Las experiencias dicen que el API es un 50% más eficiente que el CPI, aunque no se tienen datos científicos que lo comprueben. Por otro lado, el CPI y el API pueden ser de tamaños compactos y cerrados por lo que minimizan los problemas de malos olores.

El tratamiento secundario utilizado es el que ha sido mencionado en la sección de emulsiones. El efluente acuoso podrá contener lubricantes remanentes que deberán ser removidos por tratamientos biológicos o por adsorción con carbón activado.

Existen distintas tecnologías para el manejo de los residuos donde el lubricante es relativamente recuperable o rentable, y esto incluye extracción por solventes.

Otra de las metodologías que se utilizan es la de introducir al recipiente o evaporador a una corriente de vapor de agua, con el fin de volatilizar en primer instancia el componente de la mezcla azeotrópica con menor punto de ebullición. Estos equipos pueden ser diseñados para trabajar en forma continua con un caudal continuo de entrada y salida de la mezcla a tratar. O bien, trabajando de manera intermitente con cargas en el recipiente de la mezcla.

En el caso de la separación de aceites esta metodología ofrece una alta pureza del agua tratada, ya que como este elemento es el que tiene el menor punto de ebullición se logra extraer en forma muy pura, quedando remanente muy poca concentración de parámetros, tal como la dureza.

Por otro lado, el lubricante que queda en el fondo contiene todas las impurezas de la emulsión más las impurezas que originalmente contenía diluidas en agua.

Otro de los equipos que ofrece una mayor eficiencia es el reactor de evaporación de película, donde se tiene un caudal de entrada continuo de los residuos, y éstos son precalentados hasta una temperatura de saturación del agua. Posteriormente, la corriente laminar o de película pasa a través de un plato de calentamiento donde se separa el agua en forma de vapor y el lubricante es descargado al fondo del recipiente para ser enviado posteriormente a tratamiento, reciclaje y/o incineración.

❖ **Tratamiento de lubricantes minerales usados (residuos de proceso)**

Los lubricantes minerales usados son generados inevitablemente durante el manejo, la refinación del petróleo y en los procesos químicos donde se utilizan productos de los lubricantes y grasas. Por otro lado, también se generan durante la distribución y transportación, su uso (como lubricantes) y en el reciclaje de los lubricantes usados.

Las aguas residuales que contienen lubricantes de plantas petroquímicas y de refinación pueden ser tratadas por diversas tecnologías antes de ser descargadas a los drenajes o cauces de aguas naturales. Así mismo, se consideran además como lubricantes usados minerales los siguientes:

1. Residuos aceitosos y todos provenientes de los fondos de tanques de almacenamiento o tanques de separación de lodos y de floculación – sedimentación. Estos contienen (dependiendo de la fuente) lubricantes, agua, productos de degradación, corrosión y aditivos derivados del petróleo.
2. Lubricantes usados con contenido de contaminantes volátiles y no volátiles, emulsiones y jabonaduras con contenido mayor de 8% de lubricantes, más aditivo, metales e inhibidores.
3. Lubricantes con trazas de residuos: lodos ácido – aceitosos con contenido de ácido sulfúrico, hidrocarburos y aditivos, tierras de blanqueo gastadas con 40% de aceites, más impurezas de los aceites, fondos de columna conteniendo residuos no volátiles generados en la re-refinación de los lubricantes.

3.1.2 Tratamiento de lubricantes usados

❖ Proceso ácido arcilloso

Se ha desarrollado un sin fin de procesos de tratamiento, aunque las tecnologías no son conocidas debido a que las casas comerciales y las firmas mantienen esta información como confidencial. Sin embargo, el método de tratamiento más utilizado es el proceso ácido arcilloso. En este método, en la primera etapa se aplica la sedimentación y drenado del agua del lubricante y/o grasa usada, posteriormente, mediante el cribado las películas grandes son removidas para su posterior calentamiento y centrifugado con el fin de remover las partículas menores a 2 micrómetros de diámetro nominal, así como el agua emulsificada.

Posteriormente, el lubricante pasa, por medio de una vía de conducción calentada, hacia un equipo deshidratador por flasheo a presión atmosférica y a 150 °C para remover la humedad y los hidrocarburos ligeros. El aceite deshidratado se enfría a 40 °C y mezclado con una solución del 6 al 10% en peso de ácido sulfúrico del 93 al 98%.

Al finalizar la reacción la mezcla se separa en dos fases, donde la capa inferior es un residuo ácido la cual es drenada para su posterior tratamiento, disposición o incineración.

El olor y color del lubricante es removido mediante la adición y mezclado de 3 a 5% en peso de tierra activada de blanqueo (cal viva) y 0.1 a 0.2% de un compuesto alcalino con el fin de hacerlo reaccionar al vacío en una torre de evaporación a 270 °C. Los fondos de columna, están formados por lubricantes con viscosidad bajas, así como de tierras de blanqueo gastadas, las cuales posteriormente son filtradas y removidas para su subsecuente disposición o incineración. Los lubricantes destilados condensados tienen una viscosidad baja.

Este proceso puede ser utilizado para tratar una gran variedad de lubricantes y grasas usadas con diversos tipos de contaminantes. Cada compañía de reciclaje ha desarrollado con certeza sus propias variaciones en el proceso, dependiendo de las cargas utilizadas y de las necesidades previstas. Cabe mencionar que el proceso de re-refinación es sumamente difícil y se requieren expertos en la materia para conseguir las especificaciones equicomparables con los lubricantes nuevos o de primera manufactura. Esto es especialmente difícil cuando se tienen lubricantes usados conteniendo aditivos, como es el caso de mejoradores de viscosidad o inhibidores de corrosión, por lo que es necesario contar con técnicas y procedimientos de prueba de control de calidad para los lubricantes usados. Sin embargo, en principio no existen objeciones técnicas para reciclar lubricantes.

Las modificaciones al proceso han sido realizadas con el fin de mejorar los procesos. Algunos están basados en la extracción de solventes, como el propano o el butanol, el cual es extraído después del pretratamiento y la deshidratación y antes del lavado con el ácido y las arcillas. Otras variaciones en el proceso es el empleo de sustancias alcalinas en el lavado, además de un tratamiento con hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno.

Los residuos jabonosos o aceitosos con base agua con concentraciones por arriba del 5% de lubricantes (lubricantes solubles) son poco rentables, debido a la compleja composición de los lubricantes solubles utilizados comúnmente, ya que contienen materiales emulsificantes como son las jabonaduras del petróleo, un par de agentes que mantienen la estabilidad de la emulsión y frecuentemente bactericidas, por lo que hacen que el ablandamiento y la re-refinación un sofisticado sistema de control y operación donde únicamente las empresas con bastante experiencia pueden lograrlo.

❖ **Proceso de re-refinación Phillips**

El proceso Phillips de re-refinación de los lubricantes usados (PROA) comienza cuando se mezcla una solución acuosa de fosfato de amonio con el lubricante usado a tratar, previamente calentado. Este proceso reduce el contenido de metales, a través de una serie de reacciones que ocurren por debajo de los 149 °C de temperatura y 20 psi de presión, se forman fosfatos metálicos que son removidos posteriormente en la filtración. Durante las reacciones de desmetalización, el agua y los compuestos volátiles ligeros son evaporados.

Como segundo paso, el lubricante remanente, libre de sólidos y metales, es calentado y mezclado con hidrógeno y enviado a un catalizador de níquel – molibdeno. El objeto general de esta serie de operaciones es la de remover el azufre, nitrógeno, oxígeno, cloro, así como la de minimizar el color en el lubricante. Posteriormente, el lubricante es destilado con el fin de separar la fracción ligera.

El PROA ofrece un rendimiento de arriba del 95% con impurezas de metales menores a 10 ppm, así como pequeñas trazas de azufre. El proceso genera un residuo (tierra diatomácea) producto del filtrado, que puede ser dispuesto sin posibilidades de riesgos tóxicos en un confinamiento.

Análisis efectuados recientemente indican que el proceso de desmetalizado es muy efectivo, dado que el contenido de metales en el lubricante antes de la desmetalización es relativamente alto (500 ppm), y en el producto final se tiene una concentración de 10 ppm de lubricante usado adicionado al proceso. Por otro lado, el combustible producido durante el proceso se encuentra casi exento del contenido de azufre en general.

En resumen, se puede concluir que este proceso ofrece eficiencias de remoción muy elevadas (del orden del 96%). Sin embargo, se pueden tratar lubricantes

usados procedentes de motores automotrices, hidráulicos, compresores, pero deben estar libres de solventes clorados u otros productos químicos.

❖ **Proceso de horno rotativo B.V. de tecnología cinética internacional (KTI)**

Aunque existen bastantes alternativas en las metodologías utilizadas en este tipo de proceso, en todos los casos se utiliza para la eliminación de los productos indeseables, un horno rotativo que opera al alto vacío afectando el calentamiento de la carga mediante un intercambiador de calor, alimentado con un fluido térmico.

Esta destilación se efectúa en una etapa intermedia, antes del blanqueo con arcillas y ácidos o con hidrogenación.

La ventaja que ofrece este proceso en comparación con la destilación en columna es de que en el horno rotativo se minimiza al máximo el ensuciamiento del equipo incrementando su operabilidad.

Este proceso en la actualidad, ofrece eficiencias del 82%, flexibilidad en el proceso, admitiendo lubricantes de todos tipos con diferentes grados de contaminación, incluyendo la admisión de PCB's y otros componentes altamente tóxicos y no genera hidrocarburos de cadenas largas como subproductos. La desventaja que tiene este proceso cuando se utiliza la hidrogenación es que éste puede ser perturbado con la introducción de cualquier tipo de impurezas.

❖ **Proceso de extracción por propano**

La base de este proceso es la utilización del propano para extraer, de forma selectiva, el lubricante de un residuo de lubricante usado. El propano una vez que contiene el lubricante diluido es removido por evaporación en un reactor –

extractor, mientras que los compuestos asfaltados pesados y los sólidos suspendidos son depositados en el fondo del reactor. Estas impurezas y lodos pueden ser mezclados con combustibles para su quema o pueden ser confinados.

El proceso típico se divide en seis operaciones:

1. Destilación.
2. Extracción con solvente.
3. Separación del solvente y recuperación del aceite.
4. Tratamiento ácido.
5. Tratamiento con tierras de blanqueo (arcillas).
6. Filtración.

El lubricante usado es destilado para remover el agua y los hidrocarburos ligeros. Posteriormente, se mezcla con propano en un extractor en la proporción 15-20:1 (propano: lubricante) para obtener un producto de alta calidad. La mezcla de propano – lubricante es enviada a un separador, donde el propano es evaporado del lubricante y reutilizado en el proceso. En esta separación se forman los residuos asfálticos e impurezas.

Los residuos generados en este proceso son: fondos de columna, lodos acidificados y arcillas gastadas. Las cantidades generadas no son tan grandes como en el tratamiento convencional, sin embargo, si son cantidades representativas que requieren de cierta infraestructura en el manejo y transporte para su envío a confinamiento. Así mismo, el proceso genera ciertas cantidades de aguas residuales, que deben ser tratadas antes de su descarga.

❖ **Proceso de extracción por solventes (BEC)**

Este proceso es muy similar al KTI, la diferencia estriba en que en este proceso se adicionan solventes en el tratamiento. El proceso comienza con la deshidratación del lubricante en la destilación, así como la separación por evaporación de los hidrocarburos ligeros. Al lubricante deshidratado se le adiciona una proporción 3:1 de los siguientes solventes: butanol, isopropanol y metil-etil-cetona (MEK), formando una mezcla de los solventes y el lubricante. Se deja sedimentar la mezcla donde se permite el asentamiento y drenado de los lodos y sedimentos, o bien, se centrifuga para separar estos residuos.

Después, mediante evaporación, se recupera, condensa y se reciclan los solventes. El lubricante tratado es destilado al vacío y tratado con arcillas de blanqueo y ácido, o por hidrogenación y filtrado para eliminar los olores y color del lubricante.

La generación de residuos de arcilla es mucho menor, y en su lugar, se obtienen residuos de hidrocarburos y compuestos pesados que pueden ser mezclados con algún combustible para su incineración.

Por otro lado, se están llevando a cabo investigaciones para sustituir en este proceso el tratamiento con arcilla por la hidrogenación. Esta mejora incrementara la calidad del producto final y eliminara por completo la generación de arcillas gastadas. Sin embargo, las desventajas en la hidrogenación son mayor inversión inicial; es potencial fuente de riesgo, debido a las altas temperaturas y presiones en las que opera el equipo, el almacenamiento del hidrógeno tiene un alto riesgo de explosión; debido a fallas de energía se tienen riesgos de paro que coaccionaría grandes fugas de hidrógeno en la unidad criogénica de almacenamiento, el consumo de energía es mucho más elevado; la operación tiene muy poca flexibilidad en sus parámetros de control, como por

ejemplo: se requiere un flujo constante de suministro de materia prima, por lo que no se podrá interrumpir momentáneamente la alimentación del sistema.

❖ **Proceso de la empresa Resource Technology INC. (RTI)**

En este proceso inicialmente se drena el agua del lubricante usado, Posteriormente, es calentado para evaporar el agua y los hidrocarburos ligeros a presión atmosférica por destilación (a una temperatura menor a 221 °C). El lubricante deshidratado es enviado a destilación a vacío, donde se alcanza una temperatura de 327 °C y se evaporan los hidrocarburos y combustibles semivolátiles. Este combustible puede ser quemado directamente o condensado y formulado para su venta y distribución.

El lubricante remanente es inyectado a gran velocidad en una columna de destilación tipo ciclón. Las altas velocidades de la corriente generan una gran fuerza centrífuga que ayuda a la separación de los aditivos y contaminantes remanentes, eliminando la formación de coque o lodos aglutinados de residuos. En el fondo de la columna de destilación se depositan y extraen estos residuos que son utilizados como materia prima para las plantas de asfalto.

El proceso RTI produce, relativamente, un lubricante de alta calidad, con un contenido mínimo de metales (6 ppm), además de una eficiencia de recuperación del producto del 80% con relación a la carga de materia prima. El proceso casi no genera emisiones de contaminantes a la atmósfera y las aguas residuales generadas requieren de muy poco tratamiento. Los residuos sólidos generados representan una inversión ya que pueden ser vendidos y/o distribuidos.

❖ **Proceso de destilación, filtrado y tratamiento con arcillas**

En este proceso existen cinco unidades independientes de tratamiento:

1. Pretratamiento.
2. Deshidratación.
3. Evaporación.
4. Destilación.
5. Tratamiento con arcillas y filtración.

El pretratamiento depende del origen y grado de contaminación del lubricante usado. Usualmente los lubricantes usados provenientes de motores vehiculares no requieren de un pretratamiento, mientras que la mayoría de lubricantes usados de la industria deben ser pretratados mediante reactivos químicos para eliminar el agua y los sólidos emulsificados con el lubricante. El agua condensada es enviada a tratamiento para su descarga, mientras que el lubricante es enviado a destilación.

El lubricante deshidratado es calentado y luego se pasa a un tanque de flasheo o evaporación. Aquí las fracciones de lubricante ligero son evaporadas, condensadas y bombeadas a almacenes temporales. Mientras tanto, los lubricantes pesados son enviados a un destilador de película fina. Al controlar los niveles de vacío se obtienen diferentes tipos de lubricantes de diversas viscosidades.

El lubricante se mantiene circulando del evaporador al destilador de película fina.

Finalmente, los lubricantes y materiales inestimables son bombeados y almacenados. Estos aceites pueden ser comercializados directamente o mezclados con lubricante deshidratado para la formulación del combustible pesado. El vacío en este proceso se logra mediante un sistema de inyección.

Los vapores colectados en el sistema son enviados a la planta de tratamiento de aguas residuales.

❖ **Proceso Recyclon**

El proceso Recyclon consiste en la destilación inicial del lubricante usado, con el fin de evaporar el agua y los hidrocarburos ligeros. El lubricante deshidratado es enviado a un reactor que contiene partículas de sodio con un tamaño de 5 a 15 mm que son adicionadas en suficiente cantidad para conseguir una concentración de 1% de metales en solución. A través de una serie de reacciones, que incluye la polimerización de oleofinas saturadas y la conversión de compuestos sulfurosos halogenados, las impurezas del lubricante son transformadas en compuestos indestilables que se depositan en el residuo. Finalmente, el lubricante pasa a través de una serie de destiladores de película fina para la separación final de los residuos.

La eficiencia de recuperación es de un 70% aproximadamente. En este proceso se generan bajas emisiones de contaminantes a la atmósfera y el agua residual generada, que se encuentra acidificada, basta neutralizarla para poder ser descargada a un drenaje o colector de aguas residuales.

❖ **Proceso supercrítico Krupp**

El proceso comienza con la deshidratación del lubricante usado, por medio de una destilación a presión atmosférica. Posteriormente, se mezcla con etano y es enviado a una torre empacada, donde el lubricante es extraído de los contaminantes en condiciones supercríticas de 1500 psi de presión y 43 °C de temperatura. Los contaminantes son depositados en el fondo, mientras que el lubricante evaporado es enviado a otras torres empacadas donde se separa el etano del lubricante. El etano es enfriado y enviado a la primera torre.

A la fecha, únicamente en Alemania se han hecho pruebas con el proceso Krupp a nivel experimental. Los análisis practicados dieron una concentración de 50 ppm de PCB's y la ausencia total de metales.

3.2 INCINERACIÓN

Los lubricantes usados pueden también ser utilizados solos o como parte de un combustible formulado, llamado combustible secundario o alternativo. En hornos de cemento con el fin de realizar una adecuada recuperación de su contenido calorífico. El combustible secundario es una mezcla de hidrocarburos tales como: solventes orgánicos gastados, lubricantes usados, fondos de columnas de destilación y cualquier residuo líquido o semilíquido con un contenido calorífico importante. Este tipo de combustible resulta excelente para sustituir otros combustibles fósiles, principalmente el combustóleo, empleados en los hornos de clinkerización de cemento. Los lubricantes usados son uno de los ingredientes del combustible secundario con mayor capacidad calorífica, lo cual permite introducir en la mezcla residuos peligrosos con baja capacidad calorífica, tales como alcoholes, y aún obtener una formulación apropiada del combustible.

El programa de combustibles alternativos en Europa y Estados Unidos, ha demostrado ser una tecnología segura y limpia que permite destruir los residuos industriales sin crear problemas al medio ambiente.

En Europa se inicia el uso de los combustibles alternativos en la década de los sesenta.

El primer uso documentado se dio en la década de los setentas, después de la crisis del petróleo de 1973.

Para 1992, en Estados Unidos, 25 de las 98 industrias cementeras utilizaban materiales residuales como combustible suplementario.

Para 1995, 50 cementeras estaban recuperando recursos a partir de residuos orgánicos industriales en los Estados Unidos.

3.3 CONFINAMIENTO

Dentro de las alternativas para la disposición de lubricantes usados se encuentra la del confinamiento, la cual solamente soluciona el problema por un tiempo pero el riesgo está latente, además que los sitios para la instalación implica contar con el aval de las comunidades vecinas para evitar conflictos que deriven en litigios.

Es claro que este método de disposición debe ser como última instancia para residuos sólidos que hayan sido estabilizados o neutralizados y que no generen mayores riesgos.

3.4 BIODEGRADACIÓN

La biodegradación se define como la actividad de un sistema biológico sobre alguna sustancia y cuya consecuencia es la modificación total o parcial de su estructura.

Bajo esta definición se podrá pensar que cualquier sistema biológico puede actuar sobre cualquier sustancia por grande o tóxica que ésta resulte. Sin embargo, habría que hacer una serie de precisiones para ahondar en la definición.

Para que un sistema biológico pueda actuar, o mejor dicho, usar determinado compuesto como fuente de carbono y energía, es necesario que se conjuguen una serie de condiciones que son inherentes a la molécula en cuestión, al medio ambiente y al mismo sistema biológico. Entre los factores que influyen al sistema biológico se tienen:

1. Existencia del microorganismo adecuado.
2. Permeabilidad del sistema biológico.

3. Existencia del sistema enzimático adecuado.
4. Sistemas enzimáticos extracelulares producidos por diferentes poblaciones de sistemas biológicos.
5. Tolerancia a los factores ambientales.
6. Existencia de inductores adecuados.
7. Necesidad de varios microorganismos.

Entre los factores que conforman el medio ambiente se pueden citar:

- Medio ambiente físico: Oxígeno, pH, temperatura.
- Medio ambiente químicos: Actividad del agua, nutrientes, factores de crecimiento, inhibidores.

En cuanto a los factores relacionados con el sustrato y que influyen en la biodegradación, tenemos:

1. Similitud estructural en materiales degradables.
2. Materiales que pueden usarse como fuentes de carbono y energía.
3. No toxicidad.
4. Grado de polimerización y peso molecular.
5. Cadenas ramificadas.
6. Alto número de substituyentes.
7. Anillos condensados.

Así para que una sustancia cualquiera pueda ser usada como fuente de carbono y energía, es necesaria la presencia de una serie de condiciones para que se pueda llevar a cabo la biodegradación. Sin la presencia de los factores mencionados anteriormente puede ocurrir que la biodegradación no se de o se realice en forma deficiente.

Es muy probable que un proceso de biodegradación ocurra si existen todas las condiciones necesarias enunciadas anteriormente. Aunque existen ocasiones en las que aún con la existencia de las condiciones óptimas no se da el proceso de biodegradación, puede ocurrir esto y en tal caso se dice que el sustrato es resistente a la biodegradación.

De lo anterior, surgen dos ramas que tratan completamente diferente el problema del lubricante usado, uno que es desde la elaboración del aceite usado (lubricantes biodegradables), y el otro cuando se tiene como contaminante en el suelo o aguas (bioremediación).

3.5 BIOREMEDIACIÓN

La tecnología de tipo biológica para el tratamiento de contaminantes presentes en un área, elimina (mineraliza) los compuestos orgánicos presentes en el ambiente, sin alterar prácticamente el ecosistema; por tanto, la correcta aplicación de este tipo de tecnología representa en la actualidad una buena alternativa. Sin embargo, ésta no siempre es una solución universal a todos los problemas, por lo que es necesario realizar una serie de estudios previos para determinar su factibilidad de aplicación.

Bioremediación: Proceso mediante el cual, y bajo la acción de los microorganismos, se degradan los contaminantes de tipo hidrocarbonado u organohalogenados presentes en sitios contaminados. Para llevar a cabo la bioremediación se pueden emplear, tanto métodos “in situ” como “ex situ”. En el primer caso, el tratamiento de los contaminantes se lleva a cabo en el sitio en el cual se encuentran los contaminantes, mientras que para el segundo, se requiere transferir el material contaminado a otro lugar para su tratamiento posterior.

El **bioventeo** es un proceso físico biológico consistente en la inyección de aire a través de los poros, los cuales se perforan en los sitios contaminados. El número, localización y profundidad de los mismos dependerá de muchos factores geológicos, así como consideraciones de ingeniería.

Además del aire, también se bombean nutrientes, como por ejemplo una fuente de nitrógeno y de fósforo en concentraciones adecuadas que permitan el crecimiento óptimo de los microorganismos presentes en el suelo, y de esta forma degraden los contaminantes o, en su defecto, los convierten en otras sustancias menos dañinas al ambiente.

Pilas de compostaje: Este sistema consiste en revolver el material contaminado con algún residuo, por ejemplo, bagazo de caña y posteriormente apilarlo, de esta forma se obtienen dos beneficios que son modificar la textura del material contaminado del suelo y así mejorar el proceso de degradación.

Biopilas: Este proceso de degradación es muy similar al anterior, las diferencias que existen básicamente son las siguientes: no se adiciona al material contaminado un residuo que sirva como una fuente de carbono alterna, pero dependiendo del tipo de suelo en el cual se encuentre el material contaminado se le adiciona a éste otro material, con el fin de mejorar la textura del suelo (por ejemplo: arena) y la otra diferencia es que este proceso requiere bases de ingeniería, debido a que se instala un sistema de tubería a través del material contaminado y en esta red de tubería se aplica ya sea vacío o aire.

Bioreactor: Este tipo de sistema es más costoso que otros tratamientos de bioremediación, pero al mismo tiempo, es el más efectivo para eliminar los contaminantes, ya que este proceso se realiza bajo condiciones controladas de agitación, temperatura y pH.

4. LEGISLACIÓN

Falta de inversión y educación ambiental, junto con la falta de participación de las comunidades en los proyectos, han bloqueado el camino para minimizar los riesgos al medio ambiente y a la salud pública, que representan los residuos peligrosos, y es bueno saber que cada año se acumulan millones de toneladas de desechos en las plantas industriales y que éstas se eliminan en forma inadecuada. En efecto, son limitadas las opciones que las industrias tienen para almacenarlos debidamente y darles tratamiento especializado.

El desarrollo de la infraestructura para dar tratamiento adecuado a los desechos peligrosos avanza a paso lento, las autoridades ambientales apenas han iniciado una elaboración de una base de datos de todas las empresas que generan desechos tóxicos y se habilitan los sitios adecuados para su disposición final.

A nivel local en el año 2000, la C.D.M.B. adopta para su jurisdicción la Guía Ambiental para Estaciones de Combustible Versión N° 1 del 25 de septiembre de 1999, emanada del Ministerio del Medio Ambiente la cual establece en la ficha EST 5-3-9 el manejo para aceites usados y la exigencia de los respectivos programas de gestión ambiental a quienes manejan y disponen lubricantes usados conforme a la legislación vigente.

En Santander, la organización Terpel S. A. ha implementado el programa de gestión ambiental más completo en el año 2004, para las 14 estaciones de servicio a su cargo en la jurisdicción de la C.D.M.B. A la fecha la C.D.M.B. está dando estricto cumplimiento al Decreto 4741 de 2005 para el manejo y disposición de residuos peligrosos a los cuales pertenecen los lubricantes usados, siendo la empresa CRUDESAN LTDA., quien tiene plan de manejo integral y licencia ambiental para reprocesar aceites lubricantes usados y las

empresas SANDESOL y DESCONT las encargadas de recoger y disponer residuos peligrosos.

Actualmente, la Subdirección de Normatización y Calidad Ambiental de la C.D.M.B. adelanta trabajos para la publicación de una Guía Ambiental para el manejo de lubricantes usados en su jurisdicción.

La Ley 430 de 1998 y la Resolución 1402 de 2006 prohíben el ingreso al país de residuos peligrosos para su disposición final.

A pesar de existir leyes, decretos y resoluciones que definen las condiciones de manejo de residuos peligrosos, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial sabe que son limitadas, ya que carecen de referencias sobre la cadena de actores involucrados en el manejo y disposición de residuos peligrosos (productor, generador, acopiador, transportador, almacenador, procesador y dispositor final) y las opciones posibles para el tratamiento de los aceites lubricantes usados. Así mismo, se requiere de un esquema normativo que considere de manera explícita la minimización de la generación de residuos y no sólo tecnologías “al final del tubo”.

Desde 1995 se encuentran vigentes las guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos, aunque varias empresas transportadoras carecen de la autorización correspondientes de las autoridades ambientales y del Ministerio de Transporte y en ocasiones se eliminan estos residuos en botaderos clandestinos.

La reglamentación para el manejo de los aceites lubricantes usados la contempla el Decreto 4741 de diciembre 30 de 2005, en donde se encuentran las siguientes definiciones que habrán de tenerse en cuenta en el marco de gestión integral para esta clase de residuos peligrosos:

- **Acopio:** Acción tendiente a reunir productos desechados o descartados por el consumidor al final de su vida útil y que están sujetos a planes de gestión de devolución de productos post-consumo, en un lugar acondicionado para tal fin, de manera segura y ambientalmente adecuada, a fin de facilitar su recolección y posterior manejo integral. El lugar donde se desarrolla esta actividad se denomina centro de acopio.
- **Almacenamiento:** Es el depósito temporal de aceite lubricante usado en un espacio físico definido y por un tiempo determinado con carácter previo a su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final.
- **Aprovechamiento y/o valorización:** Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los aceites lubricantes usados, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración.
- **Disposición final:** Es el proceso de aislar y confinar los aceites lubricantes usados, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.
- **Generador:** Cualquier persona cuya actividad produzca aceite lubricante usado. Si la persona es desconocida será la persona que está en posesión de estos residuos. El fabricante o importador de un producto o sustancia química con propiedad peligrosa, para los efectos del presente manual, se equipara a un generador en cuanto a la responsabilidad por el manejo de los embalajes y residuos del producto o sustancia.

- **Gestión integral:** Conjunto articulado e interrelacionado acciones de política, normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de evaluación, seguimiento y monitoreo, desde la prevención de la generación hasta la disposición final de los aceites lubricantes usados, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias a cada localidad o región.
- **Manejo integral:** Es la adopción de todas las medidas necesarias en las actividades de prevención, reducción y separación en la fuente, acopio, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final de aceite lubricante usado, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para proteger la salud humana y el ambiente contra los efectos nocivos temporales y/o permanentes que puedan derivarse de tales residuos o desechos.
- **Plan de gestión de devolución de productos post-consumo:** Instrumento de gestión que contiene el conjunto de reglas, acciones, procedimientos y medios dispuestos para facilitar la devolución y acopio de productos post-consumo que al desecharse se convierten en residuos peligrosos, con el fin de que sean enviados a instalaciones en las que se sujetarán a procesos que permitirán su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final controlada.
- **Posesión de aceite lubricante usado:** Es la tenencia de esta clase de residuos con ánimo de señor y dueño, sea que el dueño o el que se da por tal, tenga la cosa por si mismo o por otra persona que la tenga en lugar y a nombre de él.

- **Receptor:** El titular autorizado para realizar las actividades de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluida la recuperación, el reciclado o la regeneración), el tratamiento y/o la disposición final de aceite lubricante usado.
- **Remediación:** Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para reducir o eliminar los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.
- **Residuo o desecho:** Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentran en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.
- **Residuo o desecho peligroso:** Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques o embalajes que hayan estado en contacto con ellos.
- **Riesgo:** Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana y/o al ambiente.
- **Tenencia:** Es la que ejerce una persona sobre una cosa, no como dueño sino en lugar o a nombre del dueño.

- **Tratamiento:** Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los aceites lubricantes usados, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización o para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente.

Pese a las disposiciones que consagra la Ley, la tarea de las autoridades ambientales es instrumentar la política de residuos peligrosos con los siguientes elementos:

1. Creación de sistemas de información geográfica que respondan a la necesidad de identificar zonas que podrían alojar instalaciones de manejo de residuos peligrosos, con base en los Planes de Ordenamiento Territorial.
2. Fortalecimiento de las investigaciones que adelantan las universidades y el I.C.P. para la verificación de calidad de procesos que tiendan a minimizar la generación de contaminantes en los lubricantes usados.
3. Establecimiento de instrumentos económicos cuya aplicación pueda lograr de manera eficiente que los costos ambientales sean asumidos no sólo por el Estado sino que las empresas del sector de los lubricantes también asuman dichos costos.
4. Programas de educación, capacitación, investigación y desarrollo, que son requisito indispensable para el establecimiento de una política de gestión integral de residuos peligrosos.
5. Inventario de las empresas y fuentes generadoras de residuos peligrosos, con el fin de hacerles seguimiento y verificar que cuenta con la

infraestructura apropiada para su funcionamiento y cumplimiento de los parámetros que exige la Ley para su operación.

6. Evaluación de los impactos ambientales del manejo de residuos peligrosos que son importantes para el diseño de planes de gestión y remediación con valores reales de la relación costo – beneficio.
7. Participación social que permita libre acceso a toda la información en lo referente al tema de manejo de residuos peligrosos.
8. Sanciones por responsabilidad civil y penal en casos de daño al medio ambiente y la salud pública que garanticen indemnización y remediación.

4.1 LEGISLACIÓN OFICIAL COLOMBIANA PARA RESIDUOS PELIGROSOS:

NORMA	ENTIDAD	DISPOSICIÓN	OBSERVACIONES
Decreto Ley 2811 de 1974	Congreso de la República	Por medio del cual se expide el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Se deben analizar especialmente los Arts. 34 al 38.
Ley 9 de 1979	Congreso de la República	Código Sanitario Nacional.	
Ley 99 de 1993	Congreso de la República	Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se dictan otras disposiciones.	En algunos apartes de la Ley hace referencia a la prohibición de introducir residuos peligrosos al país, es importante tenerlo en cuenta para señalar en el Manual de dicha prohibición.
Ley 253 de 1996	Congreso de la República	Por medio de la cual se aprueba en Colombia el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.	Se establece como una de las corrientes de residuos peligrosos los aceites usados.
Ley 336 de 1996	Congreso de la República	Disposiciones generales para los modos de transporte.	

Ley 400 de 1997	Congreso de la República	Por la cual se adoptan normas sobre construcciones sismorresistentes.	Evaluar la pertinencia para las construcciones de las plantas que tratan aceites usados.
Ley 430 de 1998	Congreso de la República	Por medio de la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.	Se permite la utilización de aceites lubricantes de desecho para la generación de energía eléctrica, sólo se permitirá si son generados en el país y con el cumplimiento de las condiciones y requisitos que para el efecto establezcan las autoridades competentes.
Decreto 02 de 1982	Ministerio de Salud	Por medio del cual se reglamenta el Código de Recursos Naturales Renovables en lo referente a calidad del aire.	Hacer énfasis en las actividades que usan los aceites usados y que les aplica esta norma.
Decreto 1594 de 1984	Ministerio de Salud	Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 9ª de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos de aguas y residuos líquidos.	
Resolución 1936 de 1987	Superintendencia de Industria y Comercio	Oficializa la NTC 2050 como Código Eléctrico Nacional Colombiano.	
Decreto 919 de 1989	Ministerio del Interior	Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la prevención y atención de desastres.	

Decreto de 1990	283	Ministerio de Minas y Energía	Reglamenta el almacenamiento, manejo, transporte, distribución, de combustibles líquidos derivados del petróleo y el transporte por carrotaques.	
Decreto de 1991	353	Ministerio de Minas y Energía	Por el cual se reglamenta la Ley 26 de 1989 que dicta algunas disposiciones sobre la distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y se modifica parcialmente el Decreto 283 de 1990.	
Decreto de 1995	948	Ministerio de Ambiente	Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, el Decreto 2811 de 1974, la Ley 9ª de 1979 y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.	
Decreto de 1998	33	Ministerio de Desarrollo Económico	Por medio de la cual se adoptan las Normas Sismorresistentes. NSR-98.	

Decreto 1521 de 1998	Ministerio de Minas y Energía	Por el cual se reglamenta el almacenamiento, manejo y transporte y distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, para estaciones de servicio.	
Decreto 321 de 1999	Ministerio del Interior	Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia para atender eventos de derrame de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas.	
Decreto 173 de 2001	Ministerio de Transporte	Por el cual se reglamenta el servicio público de transporte terrestre automotor de carga.	
Decreto 1609 de 2002	Ministerio de Transporte	Por medio del cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carreteras.	
Resolución 898 de 1995	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial.	

Resolución 415 de 1998	Ministerio del Medio Ambiente	Por medio de la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desechos y las condiciones técnicas para realizar la misma.	
Resolución 2499 de 2002	Ministerio de Transporte	Por el cual se establece la ficha técnica para el formato único de manifiesto de carga.	
Resolución 5457 de 2002	Ministerio de Transporte	Por la cual se modifica el Decreto 2499 de 2002.	
Resolución 058 de 2002	Ministerio del Medio Ambiente	Por medio de la cual se establecen normas y límites máximo permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.	
Resolución 886 de 2004	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 058 de 2002.	
Resolución 1446 de 2005	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.	

Decreto 1220 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales.	
Decreto 4741 de 2005	Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Transporte	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	

4.2 FONDO ACEITES USADOS

Es un proyecto que se materializa el 13 de enero de 2002 con la firma del convenio para la creación del Fondo de Aceites Usados, participando las siguientes entidades:

- Castrol.
- Chevron Texaco.
- Exxon Móvil.
- Shell.
- Terpel S. A.

El Fondo busca como objetivo asegurar que el aceite usado será dispuesto en un esquema de autogestión con altos estándares ambientales y económicamente autosostenible.

Actividades del Fondo:

- Proyecto piloto en Bogotá: Análisis de viabilidad y convenios de cooperación técnica internacional.
- Capacitación a los agentes del mercado.
- Apoyo a las autoridades ambientales en la formulación de legislación.
- Desarrollo del Manual de Aceites Usados conjuntamente con el DAMA y la CAR en 2003.
- Calidad de combustibles a partir de mezclas con aceites usados.

Actores involucrados en la cadena del aceite usado:

- Acopiadores primarios (volumen inferior a 2000 galones):

Estaciones de servicio, centros de lubricación, talleres, concesionarios, no requieren de licencia ambiental para el manejo del aceite usado siempre y cuando su razón social no sea el almacenamiento de aceites usados.

- Acopiadores secundarios (volumen superior a 2000 galones):

Centros de acopio, plantas de producción, industria, requieren de licencia ambiental para el manejo del aceite usado.

- Transportadores:

Requieren estar registrados ante el Ministerio de Transporte para la movilización de residuos peligrosos.

Cumplir con lo estipulado en el Decreto 4741 de 2005.

- Procesadores y dispositivos finales:

Requieren de licencia ambiental de la respectiva Corporación Autónoma Regional y cumplir con las disposiciones del Decreto 4741 de 2005.

Usos actuales aprobados de los aceites usados:

- Formulación de combustibles para uso industrial.
- Productos para la fabricación de plastificantes.
- Combustible en calderas y hornos con capacidad.
- Disposición del residuo mediante procesos de biorremediación controlada.
- Disposición del residuo por incineración controlada en equipos que cuentan con doble cámara de combustión.

4.3 EL NODO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y TECNOLOGÍAS AMBIENTALES DE BUCARAMANGA

A partir de 1997, con la adopción de la Política Nacional de Producción más Limpia, Colombia se compromete con este tema y con el desarrollo de estrategias orientadas a divulgar y aplicar el concepto de producción más limpia, ecoeficiencia y tecnologías ambientales.

Es así como en 1998, el Ministerio del Medio Ambiente - MMA impulsa la creación del Centro Nacional de Producción más Limpia - CNPML, como organismo encargado de promover la producción más limpia en el país.

En el mismo año, por iniciativa conjunta de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB y la Universidad

Industrial de Santander - UIS y como respuesta a la dinámica generalizada de asimilación e implantación del concepto de producción más limpia, se conforma el nodo de producción más limpia de Santander, en la ciudad de Bucaramanga, capital del Departamento de Santander.

Frente a la realidad regional, el Nodo logra conciliar los intereses del Estado, la academia y el sector productivo, con el fin de propiciar los espacios para un proceso de diálogo y concertación de acciones dirigidas a mejorar el desempeño del sector productivo logrando que los procesos sean más eficientes dentro de un contexto integral de producción.

Este propósito tiene su base en la Política Nacional de Producción más Limpia que está "formulada sobre una perspectiva de largo plazo, como una respuesta a la solución de la problemática ambiental de los sectores productivos, que busca fundamentalmente prevenir la contaminación en su origen, en lugar de tratarla una vez generada, con resultados significativos para la construcción de las posibilidades reales de sostenibilidad y competitividad sectorial".

Actualmente, el nodo funciona soportado en un convenio interadministrativo suscrito entre la UIS y la CDMB, con la participación activa del MMA y del CNPML, como entidades de orientación y direccionamiento de esfuerzos hacia al sector productivo localizado en el Área de Jurisdicción de la CDMB.

Posteriormente, durante los años 2000 y 2001, con la intención de fortalecer la aplicación del concepto de producción más limpia en todo el territorio Colombiano, el MMA y el CNPML aplicaron una estrategia orientada a la regionalización, que se traduce en una red nacional de producción más limpia.

Es así como en la actualidad existen otros nodos regionales de producción más limpia como el Caribe en Cartagena y Barranquilla, el Sur occidente en Cali, el Centro en Bogotá, el Eje Cafetero en Pereira y la Ventanilla Ambiental en Cúcuta.

Agentes Involucrados en el Proceso De Consolidación y Funcionamiento el Nodo

El Estado, representado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y la Corporación autónoma regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), cumple su función de autoridad, orientador e impulsor de políticas, programas, normas, iniciativas y actividades que hacen necesario y factible un desempeño adecuado de la industria en materia ambiental, bajo el entendimiento y comprensión de las particularidades propias de las empresas. Este papel abre espacios a la concertación como estrategia para la aplicación de la norma, con una postura de cooperación, que en la medida que el empresario opte responsablemente por asegurar la sostenibilidad ambiental de su industria, hace viable su aplicación, evitando de esta forma la aplicación de medidas coercitivas.

De otra parte, a la Universidad Industrial de Santander (UIS), como organización orientada a la generación y adecuación de conocimientos, la conservación y reinterpretación de la cultura y la participación activa en un proceso de cambio por el progreso y mejor calidad de vida de la comunidad, le corresponde ser protagonista de la transformación del sector productivo actuando en el plano técnico y destinando, en este caso, sus esfuerzos hacia la investigación aplicada con gran impacto social. De aquí se deriva el grupo base de profesionales que trabaja en el nodo de producción más limpia de Santander, de alta calidad técnica, humana y administrativa, enmarcado en principios de ética coherentes con el objeto de construcción de una región preparada para afrontar un futuro desafiante.

Una vez definido el compromiso de estas instituciones, es un requerimiento de carácter obligatorio, buscar la participación activa del Sector productivo, a quien le corresponde abordar el problema ambiental como una variable de decisión y

gestión empresarial. Entender que de su conducta ambiental dependerá la magnitud de un conjunto de obligaciones tributarias las cuales afectarán en mayor o menor grado, la posición financiera de su empresa. Comprender que la gestión ambiental no es un obstáculo normativo que impone el Estado, sino una forma de enfocar el negocio frente al él, la sociedad, la competencia y el consumidor; es decir, se convierte la variable ambiental en una estrategia de competitividad.

Para complementar la conformación del grupo de actores que aseguren la dinámica necesaria para hacer viable la introducción del concepto de producción más limpia, es necesario contar con la participación de Organismos de Desarrollo Empresarial, Centros de Desarrollo Tecnológico y Entidades Financieras entre otros, que favorezcan los esfuerzos de un sector productivo interesado en la implementación de procesos altamente eficientes en términos productivos y ambientales.

El Nodo de Producción Más Limpia y el Plan de Gestión Ambiental Regional de la CDMB

El Nodo de Producción más Limpia de Santander está enmarcado, dentro del Plan de Gestión Ambiental Regional de la CDMB, como el mecanismo de asistencia técnica a la industria. La intención actual de la CDMB consiste entonces en consolidar el Nodo de Producción más Limpia en su área de jurisdicción.

Que Objetivo persigue la CDMB a través del Nodo de Producción más Limpia

El objetivo que persigue la CDMB a través del Nodo de Producción Mas Limpia, es propender por el mejoramiento de la eficiencia de la producción industrial y agrícola en la región, prevenir y minimizar la contaminación ambiental derivada de su actividad, con el fin de alcanzar un desarrollo sostenible y el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, a través de actividades como:

- ♦ Apoyar procesos de reconversión industrial hacia tecnologías más limpias
- ♦ Contribuir al diseño y ejecución de proyectos que garanticen la disposición final y el tratamiento adecuado de las aguas residuales, emisiones atmosféricas y residuos sólidos generados por las actividades industriales y agroindustriales en los trece (13) municipios del área de jurisdicción de la CDMB.
- ♦ Comprometer a las Universidades y Centros de investigación ubicados en la región, en la ejecución de políticas de investigación y desarrollo tecnológico aplicadas a la realidad ambiental del territorio nororiental Santandereano
- ♦ Impulsar la implantación de tecnologías más limpias, el control de calidad con criterios ambientales, la investigación tecnológica ligada a las empresas, la aplicación de incentivos fiscales para la reconversión ambiental del proceso de producción económico y garantizar con tales propósitos la participación del sector privado en la planificación y gestión ambiental regional y local

5. DISCUSIONES

Los desechos peligrosos, producidos por establecimientos industriales, son y serán uno de los temas ambientales más importantes en nuestros tiempos. La cuestión crítica es, no solo las cantidades cada vez más grandes que se producen a medida que los países continúan desarrollándose, sino también la creciente inquietud pública en cuanto a la repercusión que la disposición inadecuada de estos materiales tóxicos pueda tener en la salud humana y en el ambiente.

Colombia, además de responder a la crisis económica de los últimos años y a la necesidad de alcanzar mayor competitividad para participar en los mercados internacionales, tiene que realizar muchos esfuerzos para asimilar las exigencias de la legislación ambiental. Se dice fácil cuando se trata de empresas modernas, construidas según las nuevas reglas de las tecnologías y que en su mayor parte ya tienen incorporados conceptos como ecoeficiencia y desarrollo sostenible.

El problema mayor es para las industrias antiguas, que nunca se habían planteado la cuestión ambiental y que eran famosas por el humo negro de sus chimeneas o sus patios de maniobra cubiertos de escoria, desechos y subproductos. En su tiempo ni siquiera fueron mal vistas, generaron importantes polos de desarrollo regional, generaron riqueza y dieron empleo a cientos de trabajadores.

Pero las cosas cambiaron de una manera drástica a partir de los años ochenta, cuando el impacto ambiental y la conservación de los recursos naturales se convirtieron en una demanda de la sociedad. Las organizaciones no

gubernamentales, que en aquellos tiempos hicieron oír su voz y no siempre fueron bien comprendidas, finalmente consiguieron su objetivo. Hoy día, las chimeneas humeantes y las plantas industriales muy contaminantes empiezan a ser parte del recuerdo.

Sin embargo todavía hay mucho por hacer, ya que las empresas grandes cuentan con vínculos tecnológicos o comerciales internacionales y tienen identificados sus problemas y oportunidades.

El reto está ahora en la empresa pequeña y mediana, para la cual siempre existen menos recursos en términos de capacitación, administración, crédito y acceso a nuevas tecnologías. Aquí es donde deberán realizarse los mayores esfuerzos por parte de las organizaciones gubernamentales y empresariales, puesto que en Colombia las empresas pequeñas son la mayoría.

6. CONCLUSIONES

El impacto ambiental de los lubricantes usados es irreversible, involucrando todos los elementos, llámese: agua, tierra y aire, y presentándose en forma inmediata o a largo plazo. Dado que los lubricantes son esenciales para el funcionamiento de toda la industria, lo que procede es reglamentar adecuadamente su disposición una vez utilizado, apoyándose en métodos ya existentes y asesorados para elegir el proceso que se adecue a cada industria, considerando el menor impacto ambiental al final del proceso.

Respecto al aspecto toxicológico, está bien claro que los efectos se presentan de muchas maneras en la población y depende la zona en la que se habite, ser verá el efecto, ya que los componentes químicos de los lubricantes usados son elevados.

Varias encuestas han mostrado que más del 60% de los problemas ambientales se pueden resolver sin ningún costo, implementando estrategias de orden y limpieza, como separar, clasificar, no tirar lubricantes a los drenajes, etc.

Tal y como se mencionó anteriormente el mayor problema lo representa la pequeña industria, ya que es donde se concentra un volumen considerable de desechos y específicamente de lubricantes usados en donde lo más sencillo para ellos es tirar el lubricante a las alcantarillas, ya que además de sus problemas administrativos, legales, fiscales y laborales no están interesados en cubrir un requisito engorroso de almacenamiento, transportación y disposición de lubricante usado.

Una de varias alternativas para la solución del problema específicamente del lubricante usado para la pequeña industria (talleres mecánicos, cambio de lubricantes, etc.) es involucrar directamente las empresas productoras de

lubricantes, por medio de asesoramiento y ayuda para los trámites legales ante las autoridades ambientales, sabiendo de antemano que los productores tienen identificados los establecimientos que son consumidores, además de conocer su producto y conocer las empresas autorizadas que pueden disponer del lubricante usado.

El siguiente problema es determinar cual es la mejor alternativa para la disposición del lubricante usado y aunque resulta obvio cual es, las autoridades brindan alternativas que permiten mantener los residuos guardados (confinamiento). En efecto, la esencia es desaparecer los residuos peligrosos, por lo que la incineración y regeneración son las únicas alternativas que se deben mejorar, por lo que todos los apoyos gubernamentales y particulares se deben canalizar para la generación de más de estas industrias y de las que ya existen.

7. RECOMENDACIONES

A continuación se enumeran los siguientes puntos, fundamentales para la solución de este problema en donde están involucrados todos los que participan directa o indirectamente en la generación de residuos peligrosos:

1. Elaborar una base de datos de las entidades, corporaciones y organismos que apoyan iniciativas de minimización de residuos y producción más limpia. Describir las reglas, funciones y programas que lleven a cabo.
2. Promover que esos organismos hagan un balance de sus acciones, de los resultados obtenidos y de la gestión integral de los proyectos ejecutados, a fin de establecer coordinación y cooperación entre ellos, además de hacer más eficientes sus contribuciones.
3. Orientar las políticas, en primer término, hacia las áreas en las que existan las mayores oportunidades de éxito, para ganar la confianza de la sociedad y avanzar posteriormente hacia la solución de problemas de mayor complejidad.
4. La autoridad ambiental debe enseñar con el ejemplo, promoviendo la producción más limpia en sus empresas, la minimización de residuos y la compra de productos respetuosos del medio ambiente para influir en sus proveedores.
5. El marco regulatorio debe ser flexible, no prescriptivo, claro y no contradictorio; debe incluir la premiación de las empresas que se desempeñen bien.

- 6.** Debe diversificarse el mercado de capitales y los instrumentos financieros para sustentar la producción más limpia, lo que conlleva la necesidad de fundamentar, con bases económicas y no solamente sociales, las inversiones para su adopción.
- 7.** Impulsar la cooperación gobierno – industria para ganar confianza mutua a partir del desarrollo de acciones conjuntas para establecer o consolidar las políticas, regulaciones y programas de incentivos a la producción más limpia.
- 8.** Incluir en los programas curriculares de educación media y superior los contenidos ambientales requeridos para el cambio de comportamiento de los diferentes factores sociales y para el diseño ambiental.
- 9.** Fortalecer a los órganos de gobierno responsables de la protección al ambiente, ya sea dirigiendo hacia ellos los ingresos provenientes de los pagos de servicios, multas e impuestos ambientales, o de otros mecanismos.
- 10.** Fortalecer los mecanismos para lograr que la gestión en los órganos de gobierno sean tan eficientes como el de las empresas privadas; simplificar y hacer más transparentes los procesos administrativos, y alentar la coordinación intersectorial.
- 11.** Fomentar la adopción de la norma ISO 14000 por las empresas.
- 12.** Alentar y capacitar a los empresarios para que incluyan el balance de materiales y establezcan una contabilidad total quien incorpore los costos ambientales en al definición de los costos de sus productos.

- 13.** Ampliar la cobertura y la penetración de los programas de educación de los consumidores, tomando en cuenta su estratificación.
- 14.** Reforzar las acciones para dar acceso a la información ambiental al público y capacitarlo para hacer juicios fundamentados en dicha información.
- 15.** Acelerar el proceso de valoración de daños ambientales y establecimiento de garantías bancarias y seguros.
- 16.** Incentivar a las empresas para que dediquen un porcentaje de sus gastos de publicidad a costear la transmisión de mensajes con contenidos ambientales.
- 17.** Desarrollar o fortalecer los mecanismos para que el mercado reconozca a quien genera productos limpios.
- 18.** Fortalecer la participación de los grupos no gubernamentales en las diversas tareas, desde el diseño de políticas y elaboración de regulaciones hasta los programas de capacitación de las comunidades, para que participen en las actividades que alienten la minimización de residuos y la producción más limpia.
- 19.** Promover la adopción de programas, cuidando que se basen en tecnologías más limpias y no sólo en el empleo de las mismas al final de los procesos.
- 20.** Este trabajo deberá convertirse en punto de partida como tema de investigación de próximos proyectos en los cuales se pueda cuantificar mediante labores de campo los volúmenes de lubricantes usados

generados a nivel local y establecer los métodos de tratamiento y disposición final que se ajusten a las necesidades puntuales de la región .

21. Apoyo del Gobierno a los Programas de Investigación y Desarrollo de Tecnologías que adelantan las Universidad y Organismos Especializados en Materia de Hidrocarburos y Manejo de Residuos Peligrosos.

BIBLIOGRAFÍA

ABEDIN, Z. Cardiac Toxicity of Perchloroethylene. *South Med. J.* 73:1081-1083. 1980

AGENCY ON TOXIC SUBSTANCES AND DISEASES. 1989. U.S. Department of Health and Human Services. U.S. Public Health Service.

AGENCY ON TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 1991. U.S. Department of Health and Human Services. Toxicological Profile for Barium, U.S. Public Health Service. October, 1991.

AGENCY ON TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. 1991. U.S. Department of Health and Human Services. Toxicological Profile for Cadmium. U.S. Public Health Service. October 1991.

AHLBORG, G. Pregnancy Outcome Women Working in Laundries and Dry-cleaning Shop Using Tetachloroethylene. *Am. J. Ind. Med.* 17:557-575. 1990

AKSOY, M. Malignancies Due to Occupational Exposure to Benzene. *Ind. Med.* 7:395-402. 1985

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST (ACGIH). Documentation of the Threshold Limit Values for Substances in Workroom air. 5 Ed. Cincinnati, OH. 1986.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). Documentation of the Threshold Limit Values for Substances in Workroom air. 6 Ed. Cincinnati, O.H. 1991.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARD, PETROLEUM PRODUCTS, Lubricants and Fossil Fuels. 1997

ARLENS, Ethan. Introducción a la Toxicología General. México 1978.

BAILEY, Charles A., and, AARONS, Joseph. The Lubrications Engineers Manual U.S.A. 1971.

BARANSKI, B. Effects of Oral Subchronic Cadmium Exposure on Fertility, Prenatal and Postnatal Progeny Development in Rats. Arch. Toxicol. 54,297-302. 1983.

BARANSKI, B. Effect of Exposure of Pregnant Rats to Cadmium on Prenatal and Postnatal Development of the Young. J. Hyg Epidem Microbiol Inmunol. 29,253-262. 1985.

BENLLOCH, José María. Lubricantes y Lubricación Aplicada. Cáp. 1, 2, 55. Ediciones CEAC. Barcelona, España. 1985.

BETON, D. C., ANDREWS, G. S. Acute Cadmium Fume Poising. Five Cases With on Death from Renal Necrosis. Br. J. Ind. Med. 23,292. 1966.

BLAINED, J. D., Adams, R. G. Cadmium – Induced Osteomalacia. Br. J. Ind. Med. 37,104-108. 1980.

BONNET, P. Determination of the Median Lethal Concentration of Principle Chlorinate Aliphatic Hydrocarbons in the Rat. Arch. Mal. Prof. Med. Trav. Secur. Soc. 41:317-321. 1980.

BRENNIMAN, G. R., and LEVY, P. S. Epidemiological Study of Barium in Illinois Drinking Water Supplies. In Advances in Modern Environmental Toxicology IX,

Calíbrese, E. J., Tuthill, R. W., and Condie L., eds. Princeton Scientific Publications, Princeton, N. J. 231-240. 1984

BROWN, C. C., and, CHU, K. C. Approaches to Epidemiologic Analysis of Prospective and Retrospective Studies. 1983

BUCHET, J. P., LAUWERYS, R. Renal Effects of Cadmium Body Burden of the General Population Lancet. 336,699-702. 1990.

BUCKLER, H. M., SMITH, W. D. Selfpoisoning with Oral Cadmium Chloride. Br. Med. J. 292, 1559-1560. 1986.

BUXTON, B. H. Polyneuritis Cranials Associated With Industrials Trichloroethylene Poisoning. J. Neurol Psychiatry. 30:511-518. 1967.

CARPENTER, C. P. The Chronic Toxicity of Tetrachloroethylene. J. Ind. Hyg. Toxicol. 19:323-336. 1937.

CHAKRABARTI, S. K. Studies of Acute Nephrotoxic Potential of Trichloroethylene. J. Toxicol Environ Health. 23:147-158. 1988.

CIENCIA Y DESARROLLO, ECOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA DE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS. 11-17. Vol. XXIV. Nº 138. UNAM 1998.

COLE, G. M., and, BAER, L. S. U.S. Med. Nav. Bull. 43,398-399. 1944.

COYER, H. A. Tetreacholoethane Poisoning. Ind. Med. 13:230-233. 1944.

CRONKITE, E. P. Benzene Hematotoxicity and Leukemogenesis. Am. J. Ind. Med. 7:447-456. 1985.

DOING, A. T. Baritosis: A Bening Pneumomocomosis. Thorax. 31,30-39. 1976.

ECOLTEC. Folleto. Programa de Combustibles Alternativos en la Fabricación de Cemento en México 1998

ELINDER, C. G. Cadmium and Health. A Toxicological and Epidemiological Appraisal. Chapter 8. 1985.

ENCYCLOPEDIA FOR THE USED OF PETROLEUM PRODUCTS. Exxon Company, U.S.A. 1993.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Air Quality Criteria for Lead Environmental Criteria and Assessment Office. Research Triangle Park, North Carolina External Review Draft. EPA. 600/8-83-028B. September, 1984

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ambient Water Quality Criteria for Chromium Office of Water Regulations and Standards. Washington, D. C. EPA. 440/5-80-35. 1980.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ambient Water Quality Criteria for Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Office of Water Regulations and Standard. Washington D. C. EPA. 44:5-80-069. 1980.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Drinking Water Criteria Document for Benzene. Office of Drinking Water. Washington, D. C. 1985a.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Health Assessment Document of Chromium Environmental Criteria and Assessment Office. Research Triangle Park, N. C. EPA. 600/8-83-014F. 1984a.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Health Assessment Documents of Chromium Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati Ohio. EPA. 540-1-86-019. 1984b.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Health Assessment Document for Inorganic Arsenic Office of Health and Environmental Assessment, Washington, D. C. March, 1984. EPA. 60-8-83-021F. 1984.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Health Assessment Document for Lead Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, Ohio. EPA. 540/1-86-055. 1984.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Health Effects Assessment for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. EPA. 540:1-86-013. 1984.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Interim Quantitative Cancer Unit Risk Estimate Due to Inhalation of Benzene. Prepared by the Office of Health and Environmental Assessment. Washington D. C. 1985.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrate Risk Information System. Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, O. H. Feb 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System. Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati. O.H. May 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. Jul 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System (IRIS). Risk Estimate for Carcinogenicity for Benzene Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. Aug 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. Sep 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. Oct 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. Nov 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Risk Information System Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. Dec 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), National Primary Drinking Water Regulation: Synthetic Organic Chemicals and Inorganic Chemicals and Microorganisms. Proposed Rule. Federal Register 50-16936-47025. 1985.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Primary Drinking Water Regulation: Synthetic Organic Chemicals and Inorganic Chemicals and Microorganisms Proposed Rule. Federal Register. 50-46936-47025. 1985.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), National Primary Drinking Water Regulations. Code of Federal Regulations. 40,578-715. 1991.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Operational Parameters for Hazardous Wastes Combustion Devices, EPA/625/R-93/008, Oct 1993.

FREIBERG, L. Health Hazards in the Manufacture of Alkaline Accumulators with Special Reference to Chronic Cadmium Poisoning. *Acta Med Scand (Suppl. 240)*. 138, 1-124. 1950.

FULLER, Dudley D. *Theory and Practice of Lubrications for Engineers*. New York. 1956.

GOULD, D. B., SCORREL, M. R., and LUPARIELLO, A. D. Barium Sulfide Poisoning Some Factors Contributing to Survival. *Arch Intern Med* 132,891-894. 1973.

GRANT, W. M. *Toxicology of the Eye*. 3rd ed. Charles C. Thomas Publishers, Springfield, IL. 134. 1986.

GREGERSEN, P. Neurotoxic Effects of Organic Solvents in Exposed Workers. Two Controlled Follow-up Studies Alter 5.5 and 10.6 Years. *Am. J. Ind. Med.* 14:681-701. 1988.

HAKE, C. L. Human Exposure to Tetrachloroethylene. *Environ Health Perspect.* 21:231-238. 1977.

HAMILTON, A. Military Medicine and Surgery. *J. Am. Med. Assoc.* 69:2037-2039. 1917.

HART, B. A., VOSS, G. W. Pulmonary Tolerant to Cadmium Following Cadmium Aerosol Pretreatment. *Toxicol Appl Pharmacol.* 101,447-460. 1989.

HIEKS, R., CALDAS, L. Q. A., DARE, P. R. M., Cardiotoxic and Bronchoconstrictor Effects of Industrial Metal Fumes Containing Barium. Arch Toxicol. (Suppl. 9). Toxic Interfaces of Neurons, Smoke and Genes. Springer-Verlag. New York, Inc. Secaucus, N. J. 1986.

HOOD, R. D., THACKER, G. T., and PATTERSON, B. L. Effects in the Mouse and Rat of Prenatal Exposure to Arsenic. Environ Health Perspect. 19:219-222. 1997.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Vol. 23: Some Metals and Metallic Compounds. World Health Organization. Lyon, France. Pp. 39 – 324. 1980.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Vol. 27. 1982.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Vol. 32. Part. 1. Lyon, France, 1983.

JORON, G. E. Massive Necrosis of the Liver Due to Trichloroethylene. Can Med Assoc. J. 73:890-891. 1955.

KLEINFELD, M. Trichloroethylene Toxicity Report of 5 Fatal Cases. AMA Arch. Ind Hyg. Occup. Med. 10:134-141. 1954.

KLUBER. Lubrication Munchen K. G. Manual de Lubricantes. Ed. 07. 1991.

KOPPEL, C. Acute Tetrachloroethylene Poisoning: Blood Elimination Kinetics During Hydroventilation Therapy. J. Toxicol. Clin. Toxicol. 23:103-115. 1985.

KYYROEN, P. Spontaneous Abortions and Congenital Malformations Among Women to Tetrachloroethylene in Dry-cleaning. *J. Epidemiol. Community Health.* 43:346-351. 1989.

LILIS, R. Efectos del Tricloroetileno en el Sistema Nervioso Central. *Estudios Médicos Toxicológicos UNAM.* 1989.

LUBRIZOL READY REFERENCE FOR LUBRICANTS AND FUEL PERFORMANCE. Folleto Informativo. The Lubrizol Corporations. 1998.

MALTONI, C. Experimental Studies on Benzene Carcinogenicity at the Bologna Institute of Oncology. Current Results and Ongoing Research. *Am. J. Med.* 7:4150446. 1985.

MANUAL DE LUBRICACIÓN. Biblioteca Industrial Edicol. Manual de Lubricación. Tomo I y II. 1974.

MANT, A. K. Acute Tetracholoethane Poisoning. *Br. Med. J.* 655-656, 1953.

MESSARCH, M. B. and NIES, L. Modification of heterothropic plate counts for assessing the bioremediation potential of petroleum – contaminated soils. *Environ. Technol.*, 18, 639 – 646. 1997.

MIKISKOVA, H. *Brit. J. Ind. Med.* 25:81. 1968.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Convenio de cooperación científica, tecnológica y financiera para el diseño de las estrategias y lineamientos técnicos requeridos para la gestión ambientalmente adecuada de los aceites usados de origen automotor e industrial en el territorio nacional. Bogotá. 2005

MOHD MAGAZINE N° 1. Folleto Informativo de Lubricantes Sintéticos. 1996.

MORGAN, B. Dangers of Perchloroethylene. Br. J. 2:513, 1969.

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM (NTP). Toxicology and Carcinogenesis Studies of Benzene. NIH Publications N° 86-2545. 1986.

NEAL, J. Gastric Tumors in Mice Fed Benzo (a) pyrene: A Quantitative Study. Tex. Rep. Biol. Med. 25:553-557. 1967.

NORDBERG, G. F., KJELLSTROM, T. Cadmium and Health A Toxicological and Epidemiological Appraisal. Chapter 6. 1985.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. Estudio sobre la Regeneración de Aceites Usados en México. 1992.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE SALUD. Desechos Peligrosos y Salud en América Latina y el Caribe. Cap. 3, 4, 5. Pp. 2 – 24. Washington D. C. 1994.

ORT, M. G. Mortality Among Individuals Occupationally Exposed to Benzene. Arch Environ Health. 33:3-10. 1978.

PARAMINS. Seminario de Actualización de Conocimientos de Lubricantes. New Jersey. 1993.

PARAMO, José. Lubrificación. Cap. 1, 4, 6, 7. 1ª ed. 1994.

PATWARDHAN, J. R., and, FINCKH, E. S. Fatal Cadmium – Pneumonitis. Med. J. Aust. 1,962-966. 1976.

PERRY, H. M., KOOP, S. J., PERRY, E. F., Hypertension and Associated Cardiovascular Abnormalities Induced by Chronic Barium Feeding. *J. Toxicol Environ Health* 28,373-388. 1989.

REEVES, A. *The Toxicology of Metals*, 2nd Ed. Elsevier / North Holland. New York, N. Y. 84 – 94. 1986.

RIGDON, R. Relationship of Leukemia to Lung and Stomach Tumors in Mice Fed Benzo (a) pyrene. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 130-146-148. 1969.

RINSKY, R. A. Benzene and Leukemia. An Epidemiologic Risk Assessment. *N. Eng. J. Med.* 316:1055-1050. 1987.

SANDERS, V. M. Humoral and Cell-mediated Immune Status of Mice Exposed to 1,1,2-trichloroethane. *Drug Chem, toxicol* 8:357-372. 1985.

SANTODONATO, J. Health and Ecological Assessment of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. *J. Environ Pathol. Toxicol.* 5:1-364. 1981

SHANKEL, R., and, KANE, J. R. Acute Paralysis From Inhaled Barium Carbonate. *Arch Neurol* 45,579-580. 1988.

SHIGEMATSU, I. The Epidemiological Approach to Cadmium Pollution in Japan. *Ann. Acad. Med. Singapore.* 13,231-236. 1984.

STEWART, R. T. Degreasers Flush Dermal Response to Trichloroethylene and Ethanol. *Arch. Environ. Health.* 29:1-5. 1974.

TAKENAKA, S. Carcinogenicity of Cadmium Aerosol in Wistar Rats. *J. Natl. Cancer Inst.* 70,237-373. 1983.

TARASENKHO, N. Y., PRONIN, O. A. Barium Compounds as Industrial Poisons. J. Hyg Epidemiol Microbiol Immunol. 21,361-373. 1977.

THUN, M. J. Mortality Among a Cohort of U.S. Cadmium Production Workers. J. Natl. Cancer. Inst. 74,325-333. 1985.

TSENG, W. P., CHU, H. M., HOW, S. W., FONG, J. M., LIN, C. S., and YEH, S. Prevalence of Skin Cancer in an Endemic Area of Chronic Arsenics in Taiwan. J. Natl Cancer Inst. 40, 453-463. 1968.

WENDE, E. Arch Gewerbepathol. Gewerbehyg. 16,171-185. 1956.

WHITE, K. L. Toxicology of 1,1,2-trichloroethane in the Mouse. Drug Chem Toxicol. 8:333-356. 1985.

WILSON, W. H. An Outbreak of Toxic Jaundice of a New Type Amongst Aeroplane Workers. Trans. Med. Soc. London. 38:129-156. 1915.

WONES, R. G., STADLER, B. L. Lack of Effect of Drinking Water Barium on Cardiovascular Risk Factors Environ. Health Perspect. 85,355-359. 1990.

WONG, O. An Industry – Wide Mortality Study of Chemical Workers Occupationally Exposed to Benzene. Oakland, California. 1982.

www.cdmb.gov.co/nodo

ZINDER, Ca. The Inhalation Toxicology of Benzene. Toxicol. Appl. Pharmacol. 54:323-331. 1980.