

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**“TECNOLOGÍAS Y PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA
LA DISPOSICIÓN FINAL DE LUBRICANTES USADOS”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR:

WALTER ALBERTO AGUILAR ESPINOZA

LIMA – PERU

2004

RESUMEN

El presente trabajo plantea una solución práctica al problema ambiental que genera la existencia de aceites lubricantes usados que cumplieron su ciclo de vida útil.

La solución toma como base los marcos legales vigentes, las tecnologías actuales para la elaboración de los lubricantes, la composición del lubricante nuevo como de aquel que cumplió su ciclo de vida, y finalmente las diferentes tendencias actuales y futuras para la disposición final.

Basándonos en toda esta información se formula la implementación de un programa para el tratamiento y disposición final de estos contaminantes, que incluye el recojo, el transporte, descarga, análisis, tratamiento, emisiones de reporte y finalmente su disposición final. Se incluye asimismo una propuesta económica dirigida a las diferentes empresas que quieran disponer de una manera segura y eficaz de este tipo de residuos.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	3
II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS	5
II.1 MARCO LEGAL APLICABLE.	5
II.2 LUBRICANTES	6
II.2.1 DEFINICIÓN.	6
II.2.1.1 FUNCIONES	6
II.2.1.2 CLASIFICACIÓN	6
II.2.2 ELABORACIÓN Y COMPOSICIÓN	7
II.2.2.1 ELABORACIÓN DE ACEITES BASES	7
II.2.2.2 COMPOSICIÓN	10
II.2.2.3. CARACTERISTICAS MÁS IMPORTANTES	10
II.2.2.4 ELABORACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES	10
II.3 LUBRICANTES USADOS	11
II.3.1 DEFINICIÓN	11
II.3.2 RESIDUO PELIGROSO – DEFINICIÓN	12
II.3.3 PROPIEDADES DE LOS ACEITES USADOS	12
II.3.4 COMPOSICIÓN, CONCENTRACIÓN Y CLASIFICACIÓN	14
II.3.5 PRODUCCIÓN DE ACEITES USADOS	15
II.3.6 CONSECUENCIAS DE UNA DISPOSICIÓN INADECUADA	18
II.3.6.1 COMBUSTIÓN DESCONTROLADA	20
II.3.6.2 ELIMINACIÓN DIRECTA E INDIRECTA AL MEDIO AMBIENTE	21
III. DESARROLLO DEL TEMA	23
III.1 PROGRAMAS DE GESTIÓN PARA UN ADECUADO CONTROL	23
III.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS	24
III.3 TÉCNICAS DE CONTROL	26
III.3.1 RECICLAJE	26
III.3.1.1 RECUPERADO	26
III.3.1.2 REPROCESADO	26
III.3.1.3 REFINADO	26
III.3.2 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN PROCESOS DE COMBUSTIÓN	29
III.3.2.1 USO COMO COMBUSTIBLE	29
III.3.2.2 USO COMO COMBUSTIBLE HOMOLOGADO	29
III.3.2.3 VENTAJAS	29
III.3.2.4 INCONVENIENTES	29
III.3.2.5 CRITERIOS PARA LA ELIMINACIÓN POR INCINERACIÓN	29
III.3.2.6 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD Y DESARROLLO	30
III.3.2.7 ESQUEMA TÍPICO DE TRATAMIENTO PREVIO	40

III.3.2.8	INCINERADOR – CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO	42
III.3.2.9	EQUERIMIENTOS TÉCNICOS	42
III.3.2.9.1	EFICIENCIA DE DESTRUCCIÓN Y SEPARACIÓN	42
III.3.2.9.2	TEMPERATURA DE INCINERACIÓN	42
III.3.2.9.3	REQUERIMIENTOS DE CAUDALES DE AIRE	45
III.3.2.9.4	EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN	45
III.3.2.10	REACCIONES QUIMICAS PRODUCIDAS	45
III.3.2.11	TERMODINAMICA DE LA INCINERACIÓN	46
III.3.2.12	INCINERACIÓN EN HORNOS ROTATORIOS	47
III.4	TECNOLOGIAS ACTUALES	50
III.4.1	PADELI	50
III.4.2	PROCESO INTERLINE	52
III.4.3	CATALIZADORES ZEOLÍTICOS	56
III.4.4	SISTEMA COAT7	60
III.5	EJEMPLO DE UNA PLANTA MODELO DE TRATAMIENTO TÉRMICO	62
III.6	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA ACEITES USADOS	67
IV	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
V.	BIBLIOGRAFIA	75

I. INTRODUCCIÓN

En la transformación de materias primas, se realizan día a día una gran variedad de procesos industriales que requieren el uso de tecnologías y equipos con la finalidad de generar productos que demanda la sociedad.

Para llevar a cabo esos procesos, se requiere consumir y transformar grandes cantidades de recursos naturales, situación que afecta el equilibrio ecológico; por ejemplo, la reducción de los bancos de agua, de las reservas de hidrocarburos, de las maderas, etc.

Durante el desarrollo de sus actividades, la industria genera una gran cantidad y diversidad de desechos que si no se dispone de sistemas de gestión apropiados, terminan por deteriorar los suelos, el medio ambiente, flora y la fauna.

A manera de referencia, podemos encontrar que en plantas de Refinación y Petroquímica de crudos, con un promedio de 500 000 HP de potencia instalada en equipos mecánicos, el proceso de transformación del crudo, genera directamente volúmenes inmensos de subproductos y desechos. A esto se suma, otros residuos generados indirectamente, tal es el caso de los lubricantes empleados en los diferentes equipos, al cumplir su ciclo útil de vida.

Todos estos residuos pueden ascender fácilmente a 1 000 000 L por año.

Su disposición inapropiada puede tener efecto negativo sobre el medio ambiente.

Como es bien conocido, las actividades que desarrolla la industria durante la transformación de la materia, genera una gran cantidad de desechos; desechos o subproductos que se generan paralelamente durante la transformación de la materia prima como consecuencia de los procesos aplicados.

Paralelamente y en forma indirecta también se generan otros desechos como consecuencia del uso de la tecnología que se aplica a los procesos de transformación de la materia.

Uno de estos son los lubricantes, indispensables para el correcto funcionamiento de los diferentes equipos que requieren los procesos. Estos, al cumplir su ciclo de vida, se constituyen finalmente en residuos.

Algunos de los aspectos más dañinos de los aceites usados pueden contabilizarse como sigue: 1 litro de aceite usado es capaz de contaminar 1 000 000 de litros de agua, 5 litros de aceite usado quemado sin control, contaminan el aire que un ser humano puede respirar en tres años; 1 litro de aceite de motor vertido puede llegar a formar una mancha de 4 000 m² sobre el agua (Torras, 1998).

El presente trabajo plantea soluciones a la disposición adecuada de estos últimos residuos, sobre la base de tecnologías modernas y a nuestra realidad industrial.

El presente estudio busca difundir las tecnologías actuales y futuras, seleccionar una o más de ellas adecuándolas a nuestra realidad y al marco legal existente.

Todas estas tecnologías, parten de un conocimiento profundo de la naturaleza de los lubricantes usados y de los principios universales para un sistema de gestión ambiental eficiente, como son:

- 1.- Evitar.
- 2.- Minimizar.
- 3.- Re-utilizar.
- 4.- Tratar.
- 5.- Eliminar.

Este trabajo da a conocer tecnologías actuales para el control y/o disposición final de los aceites usados, basados en el marco legal que regula el manejo de desechos, la tecnología actual para la elaboración de los lubricantes, campos de aplicación en la industria, mecánica de la degradación por acción de las condiciones operativas, contaminantes y finalmente la naturaleza del aceite al cumplir su ciclo de vida.

Finalmente y basados en lo anterior, definimos un procedimiento técnico económico para el manejo y gestión de los lubricantes usados, dirigidos al sector industrial.

II. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS

II.1 MARCO LEGAL APLICABLE

Constitución Política del Perú – 1993

Ley N° 23853, Ley Orgánica de Municipalidades

Decreto Legislativo N° 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.

Decreto Legislativo N° 635, Código Penal

Decreto Legislativo N° 757, Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada.

Ley N° 26842, Ley General de Salud.

Decreto Supremo N° 007 – 85 – VC, Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.

Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos

Ley N° 27446, Ley Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental en actividades de Hidrocarburos, modificado por Decreto Supremo 09-95-EM.

Decreto Supremo N° 028-2003, Crean el Plan Ambiental complementario (PAC).

R.D. N° 030-96-EM, aprueba los niveles Máximos Permisibles de Emisión de Efluentes Líquidos para las actividades de Hidrocarburos.

Normas Técnicas para Monitoreo Ambiental (Protocolos).

Normas Técnicas para Diseño Ambiental (Guías).

II.2 LUBRICANTES

II.2.1 DEFINICIÓN

Un lubricante es un cuerpo susceptible de reducir el rozamiento cuando se interpone entre dos superficies con movimiento relativo.



II.2.1.1 FUNCIONES

1. Facilitar el movimiento.
2. Reducir el desgaste.
3. Reducir el consumo de energía.
4. Refrigerar los componentes.
5. Transmitir la potencia.
6. Proteger contra la corrosión.
7. Mejorar la estanqueidad.
8. Transmitir el calor.
9. Aislar.

II.2.1.2 CLASIFICACIÓN

Por su estado físico, pueden ser :

1. Líquidos como el aceite.
2. Semisólidos como la grasa.
3. Sólidos como el grafito.

Por su procedencia u origen , pueden ser

1. Naturales, como :
 - 1.1 Los aceites vegetales, como el aceites de oliva.
 - 1.2 Los animales, como el aceite de ballena.
 - 1.3 Minerales, como el petróleo o la hulla.

2. Artificiales, como las poli-alfa-olefinas, poli-esteres, siliconas, etc.

La mayoría de los lubricantes se derivan del petróleo crudo, compuestos por hidrogeno y carbono. Existen lubricantes basados en otras formulaciones, pero en general son para usos muy especializados, donde lubricantes comunes derivados del petróleo no se pueden usar.

El lubricante resulta de la combinación de aceites bases y aditivos

II.2.2 ELABORACIÓN Y COMPOSICIÓN

Cualquier lubricante ya sea sintético o mineral se elabora a partir de la mezcla apropiada de aceite sintético o mineral, conocido como aceite base sintético o mineral y aditivos. Los lubricantes minerales, constituyen la mayoría.

Un caso especial lo constituyen las grasas lubricantes, los cuales se elaboran a partir de la mezcla de aceite base (mineral o sintético), espesante y aditivos.

II.2.2.1 ELABORACIÓN DE ACEITES BASES

Este tipo de aceite base se obtiene a partir de la refinación del petróleo crudo.

En una refinería compleja, tal como la mostrada en la Fig. No. 1, el residuo de la destilación atmosférica, llamado crudo reducido, se continúa fraccionando bajo vacío para seguir separando distintas fracciones sin modificar su estructura química, obteniendo aceites bases minerales para la elaboración de lubricantes. Este residuo es refinado con solvente en la unidad de Desasfaltado -dónde se lo mezcla con propano líquido- para separar las resinas asfálticas y otros componentes que perjudican la calidad de los aceites. Luego se separa al propano del aceite y del asfalto. Posteriormente, se realiza la Refinación con furfural (sustancia que se mezcla en parte con el aceite mineral) donde se procesan -agitándolas- los diferentes cortes básicos, que salen por la parte superior, tras haber sido eliminados los compuestos aromáticos indeseables. Inmediatamente se realiza la separación del furfural utilizado. El paso posterior en la elaboración de lubricantes es la eliminación de parafinas (Desparafinado) que se realiza con solventes especiales a bajas temperaturas. Las parafinas deben eliminarse para que los aceites se mantengan fluidos cuando trabajan a muy bajas temperaturas. Los solventes utilizados son: A) Tolueno. Asegura la completa solubilidad del aceite y gran fluidez al filtrado; B) Metil-etil cetona. Compuesto parafino "antisolvente" que asegura la precipitación de las parafinas al enfriarse. El aceite así tratado luego es filtrado y refrigerado. Luego se recupera el solvente disuelto en ambas fases: aceite y parafina. Libre de compuestos aromáticos y parafinas, la base es enviada al hidrotérmino catalítico, donde se

pone en contacto al aceite con gas hidrógeno en presencia de un catalizador adecuado. Este es el último paso de la refinación de los aceites bases, siendo sus objetivos:

- a) Eliminación del azufre.
- b) Mejorar la estabilidad.
- c) Mejorar la resistencia a la oxidación.

Dependiendo de la naturaleza del crudo, conocidos como nafténicos, parafínicos o aromáticos, dan origen a un tipo de aceite base.

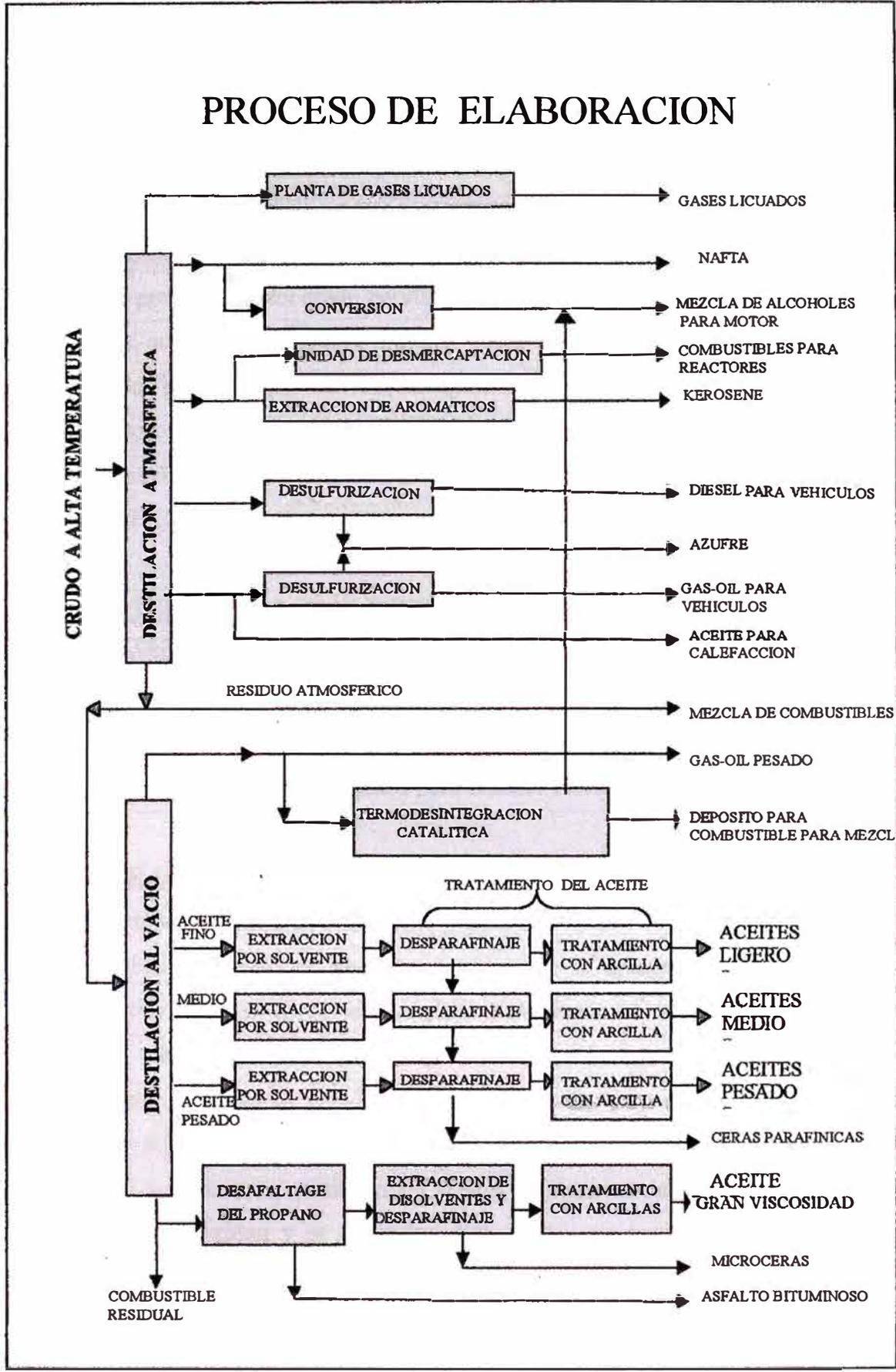


Fig. No. 1 : Proceso de Elaboración de Aceites Bases Minerales

II.2.2.2 COMPOSICIÓN

El crudo más típico es el crudo *NAFTÉNICO*, cuya estructura típica es anillos de carbonos en la estructura molecular. Son fáciles de destilar y refinar, y producen buen rendimiento por litro de petróleo.

El crudo *PARAFÍNICO* produce los mejores lubricantes minerales y son los más abundantes a nivel comercial. Los podemos encontrar en aceite para motores, para sistemas hidráulicos, sistemas de transmisión mecánica, etc.

El aceite refinado proveniente del crudo parafínico posee una estructura molecular de cadenas largas que hace al aceite más difícil de “romper”. Las cadenas largas proveen además más lugares en la cadena para agregar aditivos. Aunque no siempre las cadenas largas son ideales para todos los usos. Por ejemplo, en el caso de lubricantes para equipos refrigerantes es preferible usar el aceite de origen nafténico ya que circula mejor a bajas temperaturas.

El crudo *AROMÁTICO* se usa más que nada para producir solventes.

II.2.2.3 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES

Parafínicos: Alto índice de viscosidad, estables a los cambios de temperatura, color oscuro.

Nafténicos: Baja viscosidad y enturbiamiento, estables y de color moderado

Olefínicos y Aromáticos: No son adecuados para obtener lubricantes

II.2.2.4 ELABORACIÓN DE ACEITES LUBRICANTES

EL aceite lubricante es la mezcla de aceite base y aditivos.

Al aceite base obtenido según el esquema anterior, se le agregan aditivos, tales como antioxidantes, anticorrosivos. Estos aditivos son absolutamente necesarios en todos los lubricantes bases para brindar resistencia a la corrosión de los metales con los que el lubricante va a estar en contacto y resistencia a la oxidación para el lubricante mismo. La oxidación es muy común entre los aceites, y es fácilmente reconocida, por ejemplo, en la cocina de casa (la manteca que contienen los aceites se pone rancia). Todos los lubricantes base eventualmente se oxidan y se degradan. Esto es lo que hace que la grasa vieja se oscurezca y se endurezca. Los aditivos son importantísimos y esenciales para brindar durabilidad y consistencia a los lubricantes.

Una vez que el lubricante base ha sido combinado con los dos aditivos mencionados anteriormente, lo cual se hace inmediatamente después de refinarse, se le agrega un segundo

“paquete” de aditivos. Este paquete provee sus características a cada lubricante. Lo que es interesante saber es que el tipo de aceite base seleccionado incide en la calidad del lubricante y mas aun cada uno de los aditivos que integran la mezcla. Una materia prima de baja calidad va a pasar los requerimientos legales para la venta, pero se va a degradar mucho más rápido que un lubricante hecho con los mismos aditivos pero con una mejor materia prima. A su vez, una buena materia prima combinada con aditivos de baja calidad va a producir un lubricante que no brindara un adecuado desempeño”.

II.3 LUBRICANTES USADOS

II.3.1 DEFINICIÓN

Los aceites usados son aquellos que a partir de los aceites vírgenes han sido contaminados por algún residuo y las características de ellos dependerá del tipo de uso que haya tenido (Mc. Cabe, 1988 y Mueller Associates, 1992).

Estos contaminantes pueden ser el resultado de reacciones químicas de los constituyentes de los aceites o del deterioro o transformación química de los diferentes aditivos.

Los lubricantes se contaminan durante su utilización con productos orgánicos de oxidación y otras materias tales como carbón, producto del desgaste de los metales y otros sólidos, lo que reduce su calidad. Cuando la cantidad de estos contaminantes es excesiva, el lubricante ya no cumple adecuadamente su función y debe ser reemplazado por otro nuevo. Estos son los llamados Aceites Usados, de Desecho o Residuales, y deben ser recogidos y reciclados para evitar la contaminación del medio ambiente y preservar los recursos naturales.

Actualmente en muchos países que carecen de reglamentación, los aceites usados se están eliminando por procedimientos tales como el vertido en terrenos y cauces de agua o la combustión indiscriminada dejando de aprovechar su auténtico valor potencial, produciendo, por el contrario, peligrosas contaminaciones.

El término reciclado se aplica a los procesos capaces de devolver a un residuo ciertas características que permitan una nueva utilización del mismo. Este es el camino que debe utilizarse siempre que sea posible para la eliminación de los Aceites Usados o Residuales.

Un aceite usado, por su naturaleza, se presta a ser utilizado como medio portador de cualquier producto orgánico tóxico o peligroso, por esa razón personas o empresas inescrupulosas incorporan elementos de este tipo a efectos de eliminarlos a un coste bajo. Esta es una práctica que se da con excesiva frecuencia, ocasionando contaminaciones en los aceites usados a todas luces imprevisibles.

II.3.2 RESIDUO PELIGROSO - DEFINICIÓN

Se define a un residuo peligroso, como: Un desecho, o combinación de desechos, los cuales, debido a su cantidad, concentración o estado físico o químico o característica infecciosa, puede causar, o contribuir significativamente, a un incremento en la mortalidad o a un incremento en enfermedades irreversibles o reversibles incapacitantes, o posee una sustancia presente o potencialmente peligrosa para la salud del humano o el ambiente cuando su tratamiento, almacenamiento, transporte, o disposición o cualquier otra forma de manejo es inadecuado.

La clasificación de un residuo como peligroso es una de las etapas más trascendentales de la gestión de los residuos, ya que de ella parte, el que así sean clasificados y se sometan a un control más riguroso con el propósito de incrementar la seguridad en su manejo y prevenir o reducir sus riesgos para la salud o el ambiente.

Por ahora, no existe una coincidencia en la forma en la que los distintos países clasifican a los residuos, aunque en todos los casos entre los criterios que se emplean para sustentar dicha clasificación se encuentran las propiedades de los residuos consideradas como peligrosas y las condiciones y formas de manejo.

El segundo elemento clave de la gestión de los residuos peligrosos, junto con su clasificación, es el correspondiente a la identificación de las fuentes que los generan, de los tipos y los lugares en que se encuentran ubicadas dichas fuentes; ya que ello permite anticipar las necesidades de infraestructura de manejo que se requieren para dar cumplimiento a las políticas y disposiciones legales en la materia.

II.3.3 PROPIEDADES DE LOS ACEITES USADOS

Las propiedades de los aceites usados dependen prioritariamente de las propiedades de las bases lubricantes de las cuales se derivan, de los aditivos adicionados para mejorar la viscosidad, el poder detergente y la resistencia a altas temperaturas. Además, como resultado del servicio prestado, contiene sólidos, metales y productos orgánicos. Análisis realizados por Lahcorp , así como por Lupien Rosenberg Associates, demuestran que los aceites usados presentan como características típicas, las señaladas en la Tabla No. 1.

CARACTERISTICAS	ACEITES USADO AUTOMOTRIZ	ACEITES USADO INDUSTRIAL
Viscosidad, 40 °C, SSU	97 - 120	143 – 330
Gravedad (15,6 °C), °API	19 - 22	25,7 – 26,7
Peso Especifico (15,6 °C)	0,9396 – 0,8692	0,9002 – 0,8972
Agua, (% Vol.)	0,2 – 33,8	0,1 – 4,6
Sedimentos, % Vol.	0,1 – 4,2	0,0
Insolubles en Benceno, %Peso	0,56 – 33,3	0,0
Solubles en gasolina, % Peso	2,0 – 9,7	0,0
Punto de Ignición, °C	78 – 220	157 - 179
Poder Calorífico, Mjoule/k	31,560 – 44,880	40,120 – 41,840

Tabla No. 1 : Características típicas de un aceite usado

II.3.4 COMPOSICIÓN, CONCENTRACIÓN Y CLASIFICACIÓN

Los aceites usados son una mezcla muy compleja de los productos más diversos.

Un lubricante sin uso está compuesto por una mezcla de una base mineral o sintética (70% – 85%) y aditivos (30% - 15%).

Durante su uso se contamina con distintas sustancias, tales como:

- Agua, partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción, compuestos organo-metálicos provenientes de los aditivos, plomo procedente de las gasolinas, etc.
- Acidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o del azufre de los combustibles
- Compuestos de azufre (SO_x, H₂SO₄), como producto de la quema del azufre del diesel.
- Restos de aditivos: fenoles, compuestos de zinc, cloro y fósforo.
- Compuestos organo-aromaticos-clorados: Disolventes, PCBs (policlorobifenilo) y PCTs (policloroeterfenilos)
- Hidrocarburos Poli-Nucleares Aromáticos (PNA)
- Otras sustancias cuya presencia es imprevisible, tales como:
- Pesticidas
- Residuos tóxicos de cualquier otro tipo

- Los PCBs , conocidos como policlorobifenilos, provienen de fluidos dieléctricos. Son conocidos como PCB's son unos compuestos químicos que presentan alta resistencia a la descomposición química, biológica y térmica; son considerados buenos conductores de calor y aislantes térmicos lo cual los cataloga como sustancias atractivas para uso industrial. Al mismo tiempo, son reconocidos como una amenaza para la salud y el medio ambiente, a tal punto que algunas organizaciones internacionales han tomado acciones severas para manejar estas sustancias. Afortunadamente, estudios y pruebas de laboratorio realizados en nuestro país, no muestran presencia significativa de PCB's en los aceites Usados de circulación nacional.
- Los PCTs de fluidos térmicos que han sido utilizados en la industria durante muchos años.
- Los hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA, también llamados HAPS), parecen tener su origen en la oxidación de las gasolinas. Son unos compuestos muy peligrosos puesto que entre ellos se puede encontrar el cancerígeno Benzo(a)pireno ($C_{20}H_{12}$) Y alguno de sus derivados alquílicos.

En la práctica, el aceite usado es un líquido más o menos viscoso de color negro que puede servir de vehículo o medio idóneo para enmascarar, disueltos en él, muchos residuos tóxicos y peligrosos.

Composición y Concentración

Benzopireno	360-62000 microgramos/ litro
Benzoantraceno	870-30000 microgramos/ litro
Pireno	1670-33000 microgramos/ litro
Hidrocarburos mono-aromáticos	
Alquil-benceno	900000 microgramos/ litro
Hidrocarburos di-aromáticos :	
Naftaleno	440000 microgramos/ litro
Hidrocarburos clorados	
Tricloroetano	18-1800 microgramos/ litro
Tricloroetileno	18-2600 microgramos/ litro
Percloroetileno	3-1300 microgramos/ litro
Metales	
Bario	60-690 microgramos/ litro
Zinc	630-2500 microgramos/ litro
Aluminio	4-40 microgramos/ litro

Plomo 3700-14000 microgramos/ litro
Aditivos sulfurados, nitrogenados, disolventes clorados, etc.

II.3.5 PRODUCCIÓN DE ACEITES USADOS

En el Perú se consumen más de 10 000 000 de galones de lubricantes al año, de los cuales se estima que un 75% son para el sector automotriz y un 25% para el industrial

En Latinoamérica, se estima que alrededor del 54% lo consume el sector automotriz y el restante en otros sectores. Ver Fig. No. 2.

Las industrias de Refinación, Petroquímica, Química, Siderúrgica y Generación de Energía son compañías con importantes volúmenes de residuos peligrosos originados por concepto de lubricación, proceso o quema de combustible.

En muchos países de Latinoamérica no se cuenta con leyes que regulen el uso y generación indiscriminada de lubricantes usados (residuos peligrosos) y es dramático encontrar, según estudios realizados por algunos países, que se desconoce el paradero final, a veces de más del 40% de los aceites empleados al año.

En el país se generan anualmente grandes volúmenes de aceites usados, provenientes principalmente del consumo de lubricantes por el sector automotor, de aceites de proceso, aceites de transformadores, entre otros. Esto llevó a emprender un análisis cualitativo y cuantitativo de las diferentes actividades realizadas en la cadena comercial de este residuo (generación, almacenamiento, mezcla, recolección, transporte y disposición final), encontrándose resultados inquietantes que atañen al sector energético por las prácticas de disposición final, ya que los aceites usados se están utilizando como combustibles en forma indiscriminada y sin tratamiento, principalmente por la pequeña y mediana industria.

Teniendo en cuenta estos resultados, se inició una segunda fase de evaluación tendiente a examinar detalladamente las condiciones en que se efectúan estas prácticas, sus implicaciones energéticas, económicas y ambientales y en la búsqueda de soluciones que permitan un manejo adecuado de estos compuestos, minimizando al máximo su impacto ambiental y con el aprovechando paralelamente sus características combustibles.

En nuestro país no se tiene cifras exactas, pero se cree que cada año se generan cerca de 3,2

millones de barriles de aceite usado, de los cuales se ha calculado un potencial de recuperación cercano a los 420 000 barriles. Aproximadamente 540 BPD (barriles por día) son incorporados al mercado de los combustibles, particularmente en hornos y calderas de industrias medianas y pequeñas, como talleres de fundición, talleres de metalmecánica, textileras, siderúrgicas pequeñas, fábricas de confecciones, etc. y en el sector de servicios especialmente en las lavanderías.

En nuestro país, muchas empresas suelen vender sus aceites usados a otras empresas, principalmente informales, quienes los emplean como materia prima, tal es el caso de la industria de las suelas de jebe y empresas que reciclan aceites.

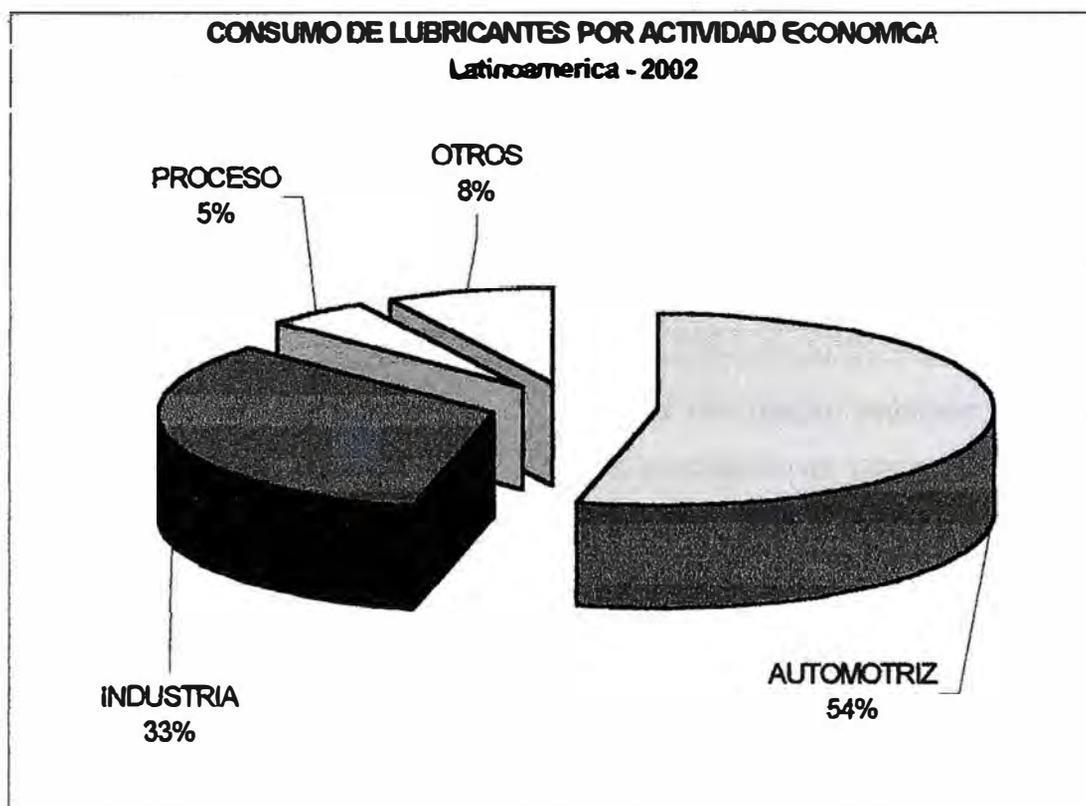


Fig. No. 2 : Consumo de Lubricantes por Actividad Económica

Fuente: Revista "Escenarios y Estrategias" - 2001 - Colombia

II.3.6 CONSECUENCIAS DE UNA DISPOSICIÓN INADECUADA

Por desconocimiento de procedimientos técnicos para su adaptación, por ausencia de normatividad sobre su reutilización industrial, por la carencia de estándares de consumo en calderas, hornos y secadores y por el mercado negro existente con estos productos, se presume que los manejos dados a los aceites usados y en general a este tipo de energéticos alternativos, son inadecuados, no solo ambiental, sino técnicamente.

En nuestro país no se tiene cifras exactas sobre el destino final que se les da a los aceites usado. En un estudio realizado en el año 2001 en Colombia, se obtuvieron datos estimados como el que se muestra en la Fig. No. 3.

Estos procedimientos están generando la degradación del medio ambiente por la gran cantidad de contaminantes, particularmente aquellos asociados con contenidos de metales como arsénico, cadmio, cromo, plomo y antimonio entre otros, que son emitidos a la atmósfera durante el proceso de combustión. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de ellos son cancerígenos.

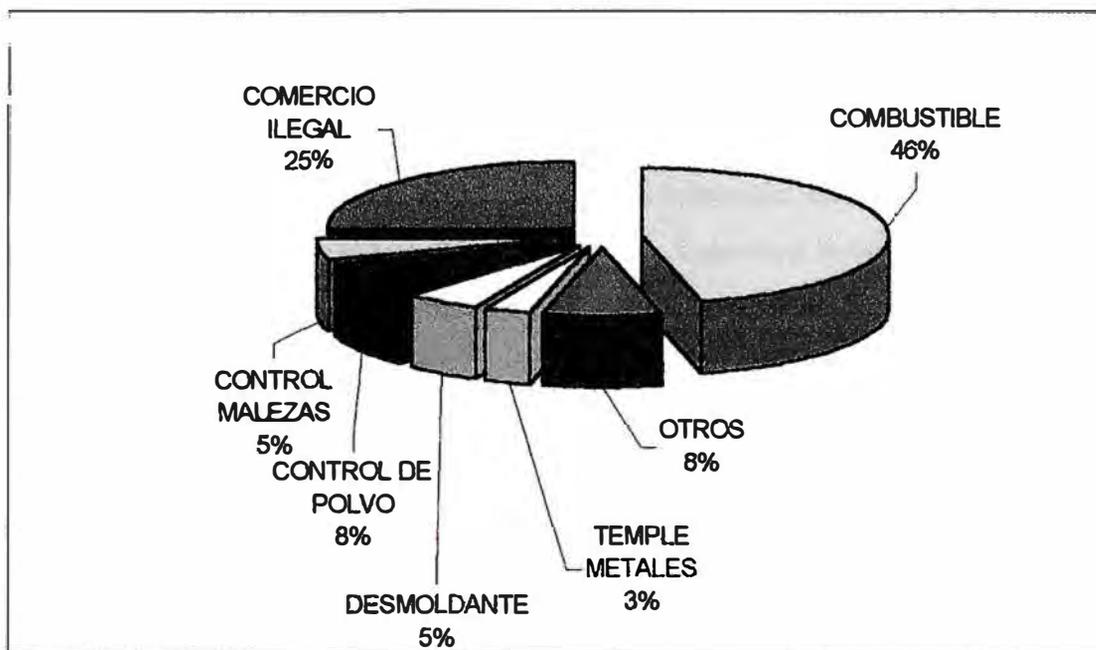


Fig. No. 3 : Disposición Final Referencial de los aceites usados
Fuente: Revista "Escenarios y Estrategias" - 2001 - Colombia

II.3.6.1 COMBUSTIÓN DESCONTROLADA

La eliminación del aceite usado, por combustión solo o mezclado con residuales, también origina graves problemas de contaminación, a menos que se adopten severas medidas para depurar los gases resultantes. Los compuestos de cloro, fósforo, azufre, presentes en el aceite usado dan gases de combustión tóxicos que deben ser depurados por vía húmeda.

Otro gran problema asociado a lo anterior, lo crea el plomo que emitido al aire en partículas de tamaño submicrónico perjudica la salud de los seres humanos, sobre todo de los niños. El plomo es el más volátil de los componentes metálicos que forman las cenizas de los aceites usados, por lo que puede afirmarse que, cuando se quema aceite prácticamente todo el plomo es emitido por las chimeneas.

La cantidad de plomo presente en el aceite usado oscila entre 1 y 1,5 % en masa y proviene de las gasolinas y de los aditivos. Estudios realizados en los Países Bajos han estimado que si llegaran a quemarse 70 000 TN/año de aceite usado que pueden recogerse, se recargaría la atmósfera con 350 TN adicionales de plomo, lo que representaría una tercera parte mas de lo que actualmente emiten los escapes de los vehículos.

Por tanto, las instalaciones donde haya de quemarse aceite usado deberán estar dotados de un eficaz, pero muy costoso sistema depurador de gases. De lo contrario, antes de su combustión deberá someterse al aceite usado a un tratamiento químico de refinado para eliminar previamente sus contaminantes, pero entonces el aceite que se obtiene así, desde el punto de vista económico, es preferible utilizarlo para ser regenerado. Como ejemplo, si optamos por quemar una lata de 5 LITROS DE ACEITE USADO, solo o mezclado con diesel, produciríamos una contaminación atmosférica por gases tóxicos debido a los componentes metálicos y al cloro, CONTAMINANDO UN VOLUMEN DE AIRE EQUIVALENTE AL QUE RESPIRA UN ADULTO A LO LARGO DE 3 AÑOS DE SU VIDA.

II.3.6.2 ELIMINACIÓN DIRECTA E INDIRECTA AL MEDIO AMBIENTE

Para medir las consecuencias de una eliminación directa de los aceites usados al medio ambiente a través de los drenajes y suelos ya sea de manera líquida o como gas, sin un tratamiento previo, es indispensable determinar la peligrosidad de un lubricante. Para ello hay que tener en cuenta varios aspectos:

- Biodegradabilidad
- Bioacumulación
- Toxicidad
- Ecotoxicidad
- Emisión de gases
- Degradación química

Cuando son descargados en los drenajes, los diversos contaminantes, así como los aceites y grasas interfieren en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

En el caso de ser descargados en el suelo, lo que representa un tiradero clandestino, el recurso suelo se perderá como hábitat de especies vegetales y animales. Los aceites usados al ser largas cadenas de hidrocarburos, son de difícil degradación, sin contar que al contener diversos metales pesados y sustancias tóxicas, inhibirán la actividad microbiana o inclusive la destruirán

Los aceites vírgenes pueden contener cantidades pequeñas controladas de PHA's (compuestos aromáticos policíclicos) que durante el funcionamiento del lubricante, mediante la descomposición de los distintos componentes así como reacciones catalizadas por metales, incrementan su presencia en el aceite usado. Muchos de estos PHA's tienen un efecto marcadamente cancerígeno plenamente demostrado, y de una forma u otra son arrojados a la atmósfera que respiramos a través de drenajes y suelos.

Se han efectuado estudios para conocer la capacidad mutagénica del aceite de motor usado. Se ha detectado que el 70 % de estos efectos son causados por PHA's con más de tres anillos, esta fracción representa sólo el 1 % del volumen de un aceite usado. De esta fracción mutagénica el 18 % del efecto lo produce el benzo-a-pireno según IARC (International Agency on Research for Cancer). Se considera que el benzo-e-pireno, benzo-a-pireno, benzo-a-antraceno y el criseno tienen un elevado potencial carcinogénico. En los crudos de aceite mineral se han encontrado cantidades de benzo-a-pireno que oscilan entre 400 y 1600 mg/ kg.

Los aceites tienen tendencia en acumularse en el entorno. Todo aquel aceite que se pierde por las calles, montes, cuando llueve se arrastra a ríos, lagos, acumulándose en sus sedimentos.

También se produce una acumulación importante en la atmósfera que respiramos. Por ejemplo un motor de dos tiempos (motos, motores fuera de borda, motosierras) expulsa aproximadamente con los gases, el 25 % del aceite lubricante que emplea en su lubricación. El 40 - 70 % de los PHAs que se emiten en los gases, proceden del aceite de motor, otro 30 - 60 % se origina en el proceso de combustión del combustible, la utilización de esteres sintéticos ayuda a reducir considerablemente estas emisiones. La tendencia lógicamente por los estudios que se realizan se encamina a la utilización de lubricantes sintéticos y aceites vegetales, que debido a su superior rendimiento frente a los minerales precisan menor aditivación, pero lógicamente son más caros.

Citamos a continuación algunos de los efectos de los componentes de aceite usado :

GASES que contienen aldehídos, cetonas, compuestos aromáticos son irritantes y actúan sobre el tejido respiratorio superior, generando ahogos, asma, bronquitis, efectos mutantes, cáncer.

SUSTANCIAS como Cloro, NO₂, SH₂, Sb (antimonio), Cr (cromo), Ni (níquel), Cd (cadmio), Mn (manganeso), Cu (cobre), actúan sobre el tejido respiratorio superior y tejido pulmonar.

OTRAS SUSTANCIAS como CO, disolventes halogenados, SH₂ producen efectos asfixiantes, impiden el transporte del oxígeno y por tanto la respiración de la célula. Los disolventes halogenados tienen efectos anestésicos y narcóticos; se acumulan en el hígado con posibles efectos cancerígenos.

METALES como Pb (plomo), Cd (cadmio), Mn (manganeso), tienen efectos tóxicos sobre el riñón. El Cadmio además tiene efectos cancerígenos sobre la próstata y el cromo sobre el pulmón.

COMPUESTOS AROMÁTICOS como tolueno, benceno, pueden llegar a provocar leucemias. Otros hidrocarburos más ligeros se acumulan en la sangre y podrían llegar a producir parálisis.

Según el Reglamento de Desagües Industriales, el valor máximo permitido de grasa y aceites para las descargas a la red pública es de 100 mg/L. Además el estándar de calidad de agua, según la Ley General de Aguas, es de 1,5 mg/L de aceites y grasas.

III. DESARROLLO DEL TEMA

III.1 PROGRAMAS DE GESTIÓN PARA UN ADECUADO CONTROL

En los países donde los lubricantes se consideran Residuos Peligrosos se tiene que seguir un esquema de manejo, de acuerdo a las Leyes, Reglamentos y Normas dictadas para ello. En general se recolectan, se procesan o tratan, para darles las características adecuadas para su incineración, o se confinan en lugares especiales para ello. Cualquiera de los dos destinos finales y su transporte tienen un costo por cilindro o metro cúbico. Aparte del uso de los aceites como combustible, también se les puede usar, previamente tratados en compactación de terrenos, templado (en fundidoras), desmoldantes de concreto (en constructoras), impermeabilizaciones y como insecticida.

En la realidad nos encontramos con que muchas compañías aun hoy descargan sus aceites usados a drenajes y suelo.

En la economía ambiental se ha llegado a la conclusión de que es mucho más barato prevenir la contaminación que remediarla. Los costos aumentan de forma exponencial a medida que se quiere volver un sitio contaminado a su estado original.

En la industria de la transformación, la decisión para sustituir los aceites de un equipo de proceso se toma basándose en la pérdida de propiedades críticas de lubricación, que se debe a la contaminación o degradación del aceite. Una alternativa importante para lubricantes que no se encuentran sometidos a temperaturas elevadas, como el aceite hidráulico y para turbinas, es realizar una limpieza adecuada librándose de contaminantes, pudiendo extenderse la vida útil del aceite hasta 10 veces, además de beneficiar la operación del equipo lubricado. Los beneficios son muy altos ya que el aceite lubricante al ser la sangre de los equipos de proceso, nos refleja la salud de éstos señalando sus enfermedades; es decir, en la medida en que los niveles de contaminación de un aceite lubricante se incrementan, en esa misma medida, los riesgos de paros de planta imprevistos o rotura de maquinaria se incrementan, con los consecuentes incrementos de costos de manufactura y los correspondientes riesgos de seguridad y salud.

Podríamos sintetizar afirmando que si se atacan las causas raíz que generan la contaminación de aceites lubricantes, no sólo se tendrá un impacto favorable en la reducción de aceites usados sino que también los beneficios económicos esperados serían muy altos.

Debido al uso constante del aceite lubricante, éste se contamina incrementado la fricción y por lo tanto; aumentando el consumo de energía y el desgaste en los equipos mecánicos. Bajo un esquema tradicional de manufactura, la opción sería cambiar aceites sucios por aceites nuevos.

¿ISO 14000?

En los últimos años la preocupación ambiental en las industrias ha cobrado un gran impulso a tal grado que los presupuestos asignados a proyectos y programas ecológicos representan un gran porcentaje de erogaciones año con año. La razón principal es derivada de la preocupación de convertirse en Industrias Limpias Sustentables. Existen estudios realizados por el API en la industria petrolera donde se puede notar claramente los montos asignados a la ecología para corregir o evitar pasivos ecológicos.

Una opción ampliamente aceptada para presentarse como industrias limpias es la implantación de programas de gestión o administración ecológica denominada ISO 14000. Este sistema representa un enfoque voluntario para un sistema ejecutivo donde sus requerimientos ayudan a las empresas a asegurar un desempeño ecológico positivo durante la realización de todas las tareas llevadas a cabo dentro de la empresa. Una vez que se tiene implantado dicho sistema se certifica la conformidad con empresas auditoras reconocidas. Es importante señalar que un sistema de gestión ecológica ISO 14000 no garantiza por sí sola resultados ecológicos óptimos. Sin embargo, se toma el compromiso de ser proactivos en la administración de puntos que sí mejoran el desempeño ecológico. Un área de oportunidad claramente visible, es la implantación de programas orientados a reducir el consumo exagerado y como consecuencia la disminución de aceites usados (residuos peligrosos).

III.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Las técnicas disponibles para un tratamiento comercial adecuado de residuos peligrosos se muestran en la Diagrama. No. 1

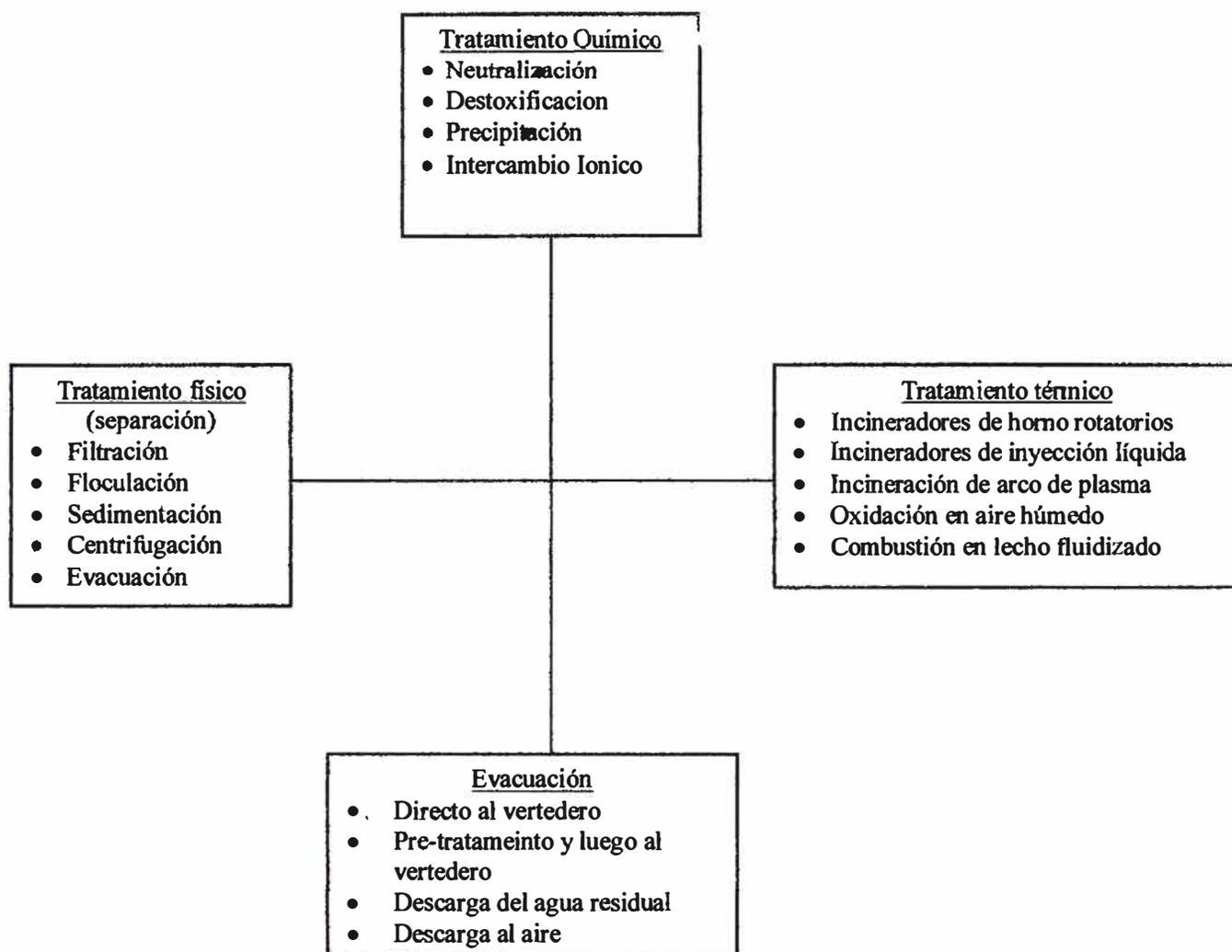


Diagrama No. 1 : Técnicas para el tratamiento de residuos peligrosos

III.3 TÉCNICAS DE CONTROL

III.3.1 RECICLAJE

Son todos aquellos tratamientos que se aplican a los aceites usados a fin de restituir total a parcial el valor agregado de este.

Desde el punto de vista de la conservación de la energía, el reciclaje del aceite residual significa un uso eficaz de los recursos percibibles. Los procesadores o refinadores tratan la mayor parte del aceite usado; adicionalmente una gran parte de los rechazos de este procesamiento son utilizados junto con productos asfálticos para carreteras.

Entre estas tratamientos tenemos: Recuperado, reprocesado, refinado. Todos estos conceptos están dentro de la definición de reciclado.

III.3.1.1 RECUPERADO

Separación de sólidos y agua.

- Procedimiento : Calentamiento, filtración, deshidratación y centrifugación.
- Aplicación : Combustible tipo fuel.
- Características : Se obtiene un producto de menor calidad.

Este proceso en general no elimina metales pesados, PCBs, aditivos (vg: inhibidores de la corrosión), entre otros.

III.3.1.2 REPROCESADO

Remoción de contaminantes insolubles, agua y productos de la oxidación(borras).

- Procedimiento : Asentamiento, calentamiento, filtrado al vacío, sedimentación, decantación, deshidratación, centrifugación.
- Aplicaciones : Lubricante con adición de aditivos o mezclado con nuevos.
- Características : Producto de calidad similar al original. Sin embargo no remueve significativamente metales orgánicos y volátiles.

III.3.1.3 REFINADO

Separación de sedimentos, agua, contaminantes volátiles, metales.

- Proceso : Calentamiento, filtrado, destilación, extracción por disolvente, tratamiento con arcilla o en un reactor catalítico.
- Aplicación : Aceites bases para nuevos lubricantes
- Características : Aceites de alta calidad, similar al original.

REPROCESADO

Los reprocesadores utilizan el calentamiento y la separación de sedimentos de fondo, agua, material en suspensión y ceniza, sin embargo, no se reducen significativamente las cantidades de metales orgánicos y volátiles y el producto final solo es apto como combustible. Los sistemas de reprocesamiento normalmente comprenden: asentamiento, calentamiento, filtración en vacío y centrifugación (ver fig. N° 3). El aceite usado, entra al tanque de decantados, donde se separan las partículas más grandes mediante sedimentación. Se procede a calentar el aceite y se filtra al vacío para extraer el agua, los hidrocarburos volátiles y los materiales en suspensión. Después de la neutralización y la demulsificación, el aceite se calienta hasta 149 °C y finalmente se centrifuga para separar las partículas que hayan pasado a través del proceso de filtración. Aproximadamente el 90% de la alimentación sale como producto (aceite reprocesado) y el resto se vuelve al calentador. Se produce un fango de metales y sedimentos, que normalmente se queman como combustible en planta o se incorpora con productos asfálticos.

REFINADO

Los refinados utilizan tecnologías similares a las de los reprocesados para separar sedimentos y aguas, así como un tratamiento avanzado para separar contaminantes volátiles y metales, lo que permite la reutilización del aceite como aceite lubricante. Un proceso típico incluye: calentamiento, filtración, destilación y extracción por disolvente, tratamiento con arcilla o tratamiento en un reactor catalítico. Un tratamiento que se está haciendo cada vez más popular es el proceso KTI, desarrollado por la Phillips Petroleum y mostrado en la figura No.4. Una destilación primaria extrae el agua y los hidrocarburos ligeros; la destilación al vacío produce una fracción muy importante en el rango de los aceites lubricantes. El paso de hidrogenación consiste en la adición de gas hidrógeno y la de este con el aceite facilitado con el catalizador. La hidrogenación separa los contaminantes que hierven en el mismo rango que el aceite lubricante, incluyendo compuestos que contienen cloro, oxígeno y nitrógeno. El aceite tratado se expande a baja presión para separar productos gaseosos y después se fracciona en los tipos deseados de aceite lubricantes. El proceso KTI es atractivo porque proporciona una buena producción y calidad del producto, equivalente al aceite lubricante virgen. El proceso es capaz de tratar aceites contaminados con PCBs y otros residuos peligrosos.

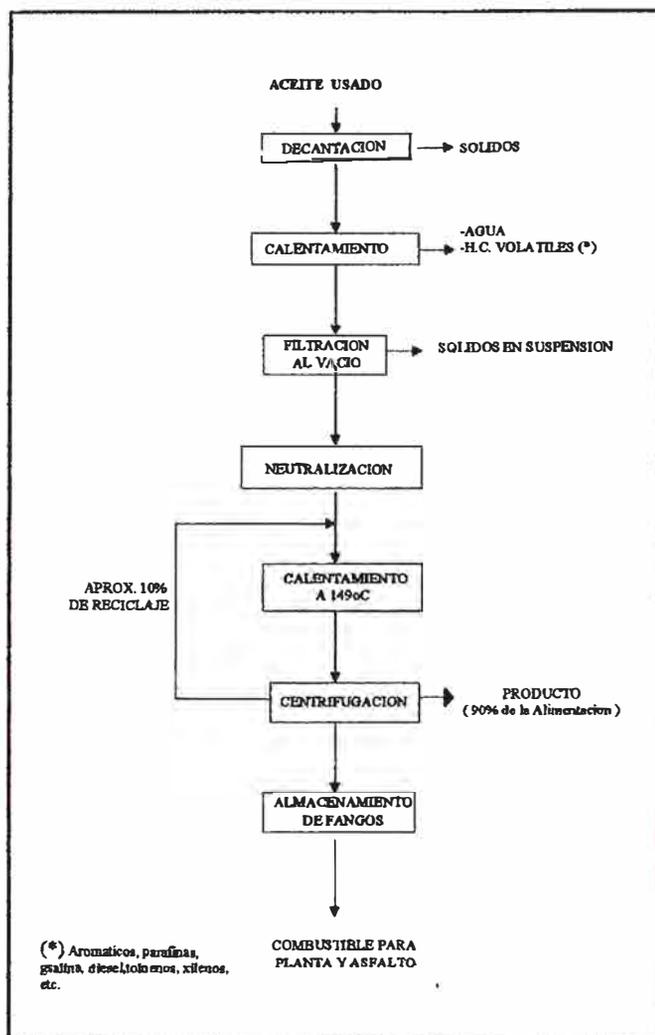


Fig. No. 3 : Reprocesado

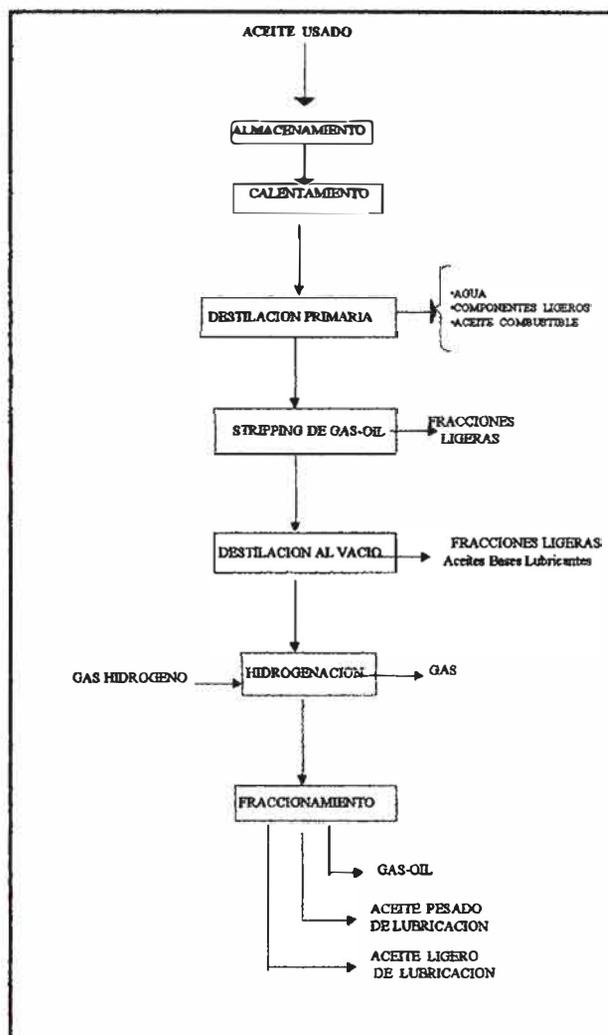


Fig. No. 4 : Refinado (Proceso KTI)

Tratamiento de Aceites Usados

III.3.2 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN PROCESOS DE COMBUSTIÓN

III.3.2.1 USO COMO COMBUSTIBLE

En instalaciones que requieren de alta potencia térmica, alta temperatura y alto consumo de combustible (con alta producción de gases de escape).

En este caso requieren de tratamiento previo y controles analíticos que permitan desclasificarlos como residuos tóxicos y peligrosos.

III.3.2.2 USO COMO COMBUSTIBLE HOMOLOGADO

En instalaciones que requieren de menor potencia térmica o para motores de combustión interna y calderas para producción de energía eléctrica.

En este caso, requieren de tratamientos físico-químicos más complejos y seguros para cumplir los requisitos que exige esta clasificación.

III.3.2.3 VENTAJAS

Los aceites usados, por su menor contenido en C, S y sedimentos, generan menor contaminación atmosférica que los combustibles sólidos. (vg.: Carbón)

De igual forma, si se los compara con otros combustibles líquidos.

Incluso, tienen mayor rendimiento calórico que otros combustibles industriales convencionales

III.3.2.4 INCONVENIENTES

- Los contaminantes que se generan en la combustión (SO_x, CO_x, NO_x, hidrocarburos aromáticos, metales, etc.), y productos de una combustión incompleta.
- Los aceites usados contienen benzopireno y benzoantraceno, los cuales son cancerígenos.
- PCBs (hidrocarburo policlorobifenilo), PNA (hidrocarburo polinucleares aromáticos)
- Dioxinas y Furanos, los cuales combustionan a temperaturas mayores a 300-600 °C.
- Presencia de metales pesados.

III.3.2.5 CRITERIOS PARA LA ELIMINACIÓN POR INCINERACIÓN

Se usa el siguiente procedimiento:

- Verificar la procedencia del aceite usado : transformadores, calderos, otros.
- Analizar el contenido de C, N, H, S, PCBs (policlorobifenilo), etc.
- Pre-evaluar los tratamientos a usar para desclasificarlo como residuo peligrosos.
- Efectuar la evaluación técnico-económico y estudio de mercado.

III.3.2.6 ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD Y DESARROLLO

La implementación de planes y programas tendientes a lograr un apropiado manejo, recolección, transporte y aprovechamiento de este residuo, se traducirá en grandes beneficios económicos, energéticos, ambientales y sociales, por la liberación de energéticos tradicionales que pueden ser exportados, por la opción de una nueva alternativa de disposición, por la remoción de contaminantes especialmente los metales pesados y por la generación de un mercado formal que elimine su carácter de residuo peligroso, fomentando la así la participación de los diferentes factores para su recuperación, acopio y tratamiento.

Como ya se dijo (Pág. 12, Sección II.3.3, Propiedades de los Aceites Usados) las propiedades de los aceites usados dependen prioritariamente de las propiedades de las bases lubricantes de las cuales se derivan, de los aditivos adicionados para mejorar la viscosidad, el poder detergente y la resistencia a altas temperaturas. Además, como resultado del servicio prestado, contiene sólidos, metales y productos orgánicos. Análisis realizados por Lahcorp , así como por Lupien Rosenberg et Associates, demuestran que los aceites usados presentan como características típicas, las señaladas en la Tabla No. 1, Pág. 13.

Los bifenoles policlorados también conocidos como PCB's son unos compuestos químicos que presentan alta resistencia a la descomposición química, biológica y térmica; son considerados buenos conductores de calor y aislantes térmicos lo cual los cataloga como sustancias atractivas para uso industrial. Al mismo tiempo, son reconocidos como una amenaza para la salud y el medio ambiente, a tal punto que algunas organizaciones internacionales han tomado acciones severas para manejar estas sustancias. Afortunadamente, estudios y pruebas de laboratorio realizados en nuestro país, no muestran presencia significativa de PCB's en los aceites usados de circulación nacional.

Panorama Industrial : Necesidades Energéticas de bajo costo

Se sabe que la industria pequeña y mediana ubicada en el sector de las PYMES, utiliza todo tipo de energéticos particularmente los combustibles líquidos para uso en calderas con diferentes sistemas de quemado (pulverizado, parrilla fija, parrilla viajera) y hornos de distintos tipos.

En Colombia, país Latinoamericano muy avanzado en este tema, se realizó una encuesta en 2001 a 295 empresas de la pequeña y mediana industria, de las 4 principales ciudades de ese país, preguntándose sobre las necesidades existentes en los procesos de combustión, los tipos

de equipos, tipos de energéticos empleados y los niveles de aceptación hacia el uso de un combustible formulado a partir de aceites usados.

Como resultado de la información obtenida se destaca que

1. El 76% de los encuestados muestra interés en el uso de este nuevo energético, considerando factores como costo, cumplimiento de normas ambientales, rendimiento frente a los tradicionales, seguridad en el suministro, homologación por parte del Ministerio de Minas y Energía y una tercera parte estaría dispuesto a ensayarlo.
2. Los empresarios admiten conocer que en algunas industrias utilizan mezclas de combustibles con aceites usados, pero no admiten que ellos mismos estén utilizando estas mezclas, principalmente por temor a multas o investigaciones por parte de la autoridad ambiental.
3. Buena parte de los propietarios consideran conveniente la reglamentación de actividad para que no se utilice el aceite usado sin tratar, lo cual está generando exceso de humos en chimeneas y dificulta un poco la operación.
4. La eficiencia promedio hallada en los equipos evaluados, es cercana al 78%, valor este bastante bajo frente a la esperada para los mismos que debe oscilar entre el 85% y 90%. Lo anterior sugiere un potencial de ahorro de energía entre el 7%-12%.

Evaluando los resultados obtenidos es factible mejorar la eficiencia energética de la industria mediana y pequeña, ya que cada punto porcentual de ahorro tiene gran importancia económica para la industria (menor costo en su facturación) y para el país (ahorro de combustible el mismo que puede ser direccionado hacia la exportación).

Tomando en cuenta los combustibles que puede reemplazar, principalmente los industriales, y los costos promedios de estos vs. los costos referenciales de los aceites usados, se estima un posible un ahorro para la industria de aproximadamente 2 millones de dólares anuales, representados en un menor valor pagado por el combustible. A su vez esto implica un ahorro de 201 barriles por día de combustibles tradicionales, que valorados como combustible exportable, se traduce en un ingreso para el país del orden de 1,5 millones de dólares por año. Lo anterior justifica un esfuerzo por parte de las autoridades ambientales y de energía con miras a mejorar la eficiencia energética y a proveer para la pequeña y mediana industria una alternativa energética que redunde en beneficios, del orden económico, ambiental y social.

Solución Alternativa : Uso del aceite usado como combustible

Por su elevada capacidad calorífica, el aceite usado se constituye en uno de los residuos con mayor potencial para ser empleado como combustible por nuestra industria, independientemente de los resultados alcanzados en la primera fase, así como su uso generalizado en buena parte de los distintos segmentos industriales, aún cuando se oculta su empleo por temor a sanciones.

Es factible estimar, que no solo por las propiedades y características de los aceites usados, sino por la necesidad de contar con alternativas energéticas y suministro seguro de energéticos, algunos países como Australia, Argentina, Estados Unidos, México, etc, cuentan con normas que permiten la utilización de los aceites usados tratados, como combustible, o como componente en mezclas de combustibles.

Sin perjuicio de la disposición final de los aceites usados en otros menesteres, se está aprovechando sus potencialidades, siendo requisito indispensable que el aceite usado haya sido previamente tratado con el fin de liberarlo de los componentes que lo hacen un residuo peligroso.

En el caso particular colombiano, en preciso entender la problemática energética, económica y ambiental, dado que, es la industria pequeña, la de escasa dotación de personal capacitado, la que utiliza los aceites usados como energéticos en sus distintos procesos industriales, debido particularmente a su costo, ubicación geográfica cerca de los grandes centros generadores y fundamentalmente a un distanciamiento a la hora de establecer políticas y desarrollar marcos normativos.

El Tabla No.2 estima los volúmenes de aceites usados generados por la industria y su posibilidad de recuperación, así como su distribución de mercado en los corredores industriales de Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla. Efectuada la evaluación financiera en consonancia con el análisis de mercado se determinó que la capacidad instalada de una planta tipo que satisfaga tales condiciones y permita la transformación de este residuo peligroso en energético, debe procesar cerca de 2,5 millones de galones anuales, con lo cual se cubriría un consumo por áreas como el señalado en la Tabla No. 2.

A la luz del estudio efectuado, se esboza a continuación una propuesta de actualización tecnológica para el sector industrial, que considera, previa a su utilización como combustible solo o mezclado, la adecuación del aceite usado.

ZONA	UBICACIÓN	M GAL	COBERTURA	No. DE PLANTAS
CENTRO	Bogota	6,00	83,3%	2
NORTE	Barranquilla	2,65	94,3%	1
SUR	Cali	2,93	85,5%	1
OCCIDENTE	Medellin	3,18	78,7%	1
TOTAL		15.36	85.45%	

Tabla No. A: Volumen estimado de aceites usados generados

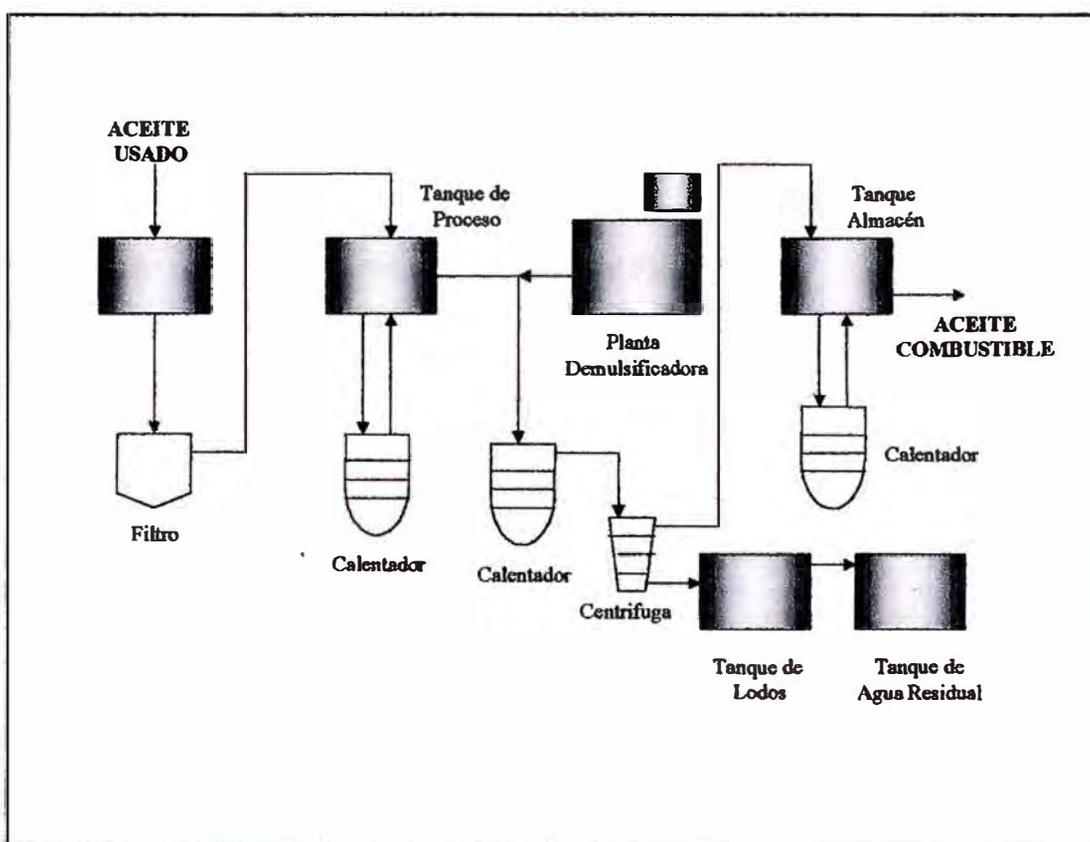


Fig. No. 5 : Esquema para el Tratamiento del Aceite Usado, previo a su uso como combustible

Dicha propuesta, incluye la selección de las mejores tecnologías de tratamiento disponibles, presenta un diseño conceptual para una planta típica justificando su tamaño con base en las cifras de mercado y plantea un esquema de gestión para la conformación de un comité Inter-institucional que se encargue de atender el desarrollo del proyecto aquí propuesto.

Procesos Requeridos : Tratamiento del aceite usado, previo a su uso como energético

La transformación del aceite usado a energético, requiere la aplicación de un tratamiento tendiente a adecuar las condiciones del aceite a las características propias del proceso de combustión, consistente básicamente en la aplicación de dos etapas así

- a) Adecuación del aceite usado mediante procesos de filtración para retirar partículas gruesas;
- b) Remoción de partículas finas, mediante procesos de sedimentación y centrifugación.

Estas etapas involucran la adición de demulsificantes, para el rompimiento de las emulsiones formadas con el agua. Una vez recuperadas las características del aceite, con el fin de lograr un combustible limpio de contaminantes, podrá utilizarse como energético en mezclas simples, de acuerdo con proporciones establecida (ver Fig. No. 5).

Procesos Requeridos : Tratamiento de Lodos

Luego de realizada la operación de separación, se origina un desecho o lodo con alto contenido de metales pesados, el cual debe ser dispuesto de forma tal que asegure de cualquier manera que estos metales no serán absorbidos por los seres vivos. La búsqueda de información sobre el tema y las prácticas comunes de países donde se utilizan los aceites usados tratados, llevó a establecer 4 opciones posibles para tratar estos lodos, así:

- Incineración
- Encapsulamiento en clinker
- Vitrificación o ceramizado
- Relleno de vías y carreteras con capa asfáltica.
- Evaluadas estas 4 posibilidades a la luz de las condiciones colombianas, la alternativa más adecuada para la disposición de lodos es el encapsulamiento en clinker para la producción de cemento; industria que ha mostrado un constante interés en participar en este tipo de investigaciones y de hecho en algunas plantas se han realizados algunas pruebas.

- Se identificó igualmente, la cantidad de contaminantes presentes en los aceites usados y las concentraciones residuales de estos, una vez el aceite usado ha sido sometido a tratamiento de centrifugación (óptimo para separación de partículas finas), instante en el cual deja de ser un residuo peligroso, para convertirse en una opción que puede ser aprovechada. Ver Tabla No.: 3.
- Una vez el residuo es transformado, puede producir distintos combustibles industriales al mezclarse con los energéticos tradicionales y comúnmente empleados en la industria en general como son el diesel y los residuales, cumpliendo igualmente con las especificaciones establecidas por la ASTM 396 (Stándar for Testing Methods).

Esta información establece los ensayos específicos para determinar en qué grado un producto determinado cumple con unas especificaciones establecidas y aplicado comúnmente a combustibles para generación de potencia y calor.

- La Tabla No. 4 muestra las opciones de mezclas posibles que puede llegar a quemar nuestra pequeña y mediana industria.
- La cantidad máxima de aceite usado tratado que puede ser mezclado con otros combustibles pesados, se encuentra limitada por algunas especificaciones determinantes, como el contenido de cenizas de la mezcla (generalmente 0.1 % max.) y principalmente por los rangos de viscosidad, que varían de acuerdo con los diferentes equipos a los cuales se destinan estos combustibles.
- Considerando que el mercado específico de estos nuevos energéticos está compuesto por calderas, hornos, calentadores y plantas de agregados, las características y propiedades de la mezcla resultante cumplen cabalmente con las especificaciones establecidas en la norma ASTM D 396 y mejoran algunas de sus características técnicas y de facilidad de manejo, principalmente aquellas relacionadas con contenido de cenizas.
- Estos combustibles son tipo llamados **Fuel Oil**, que deben dedicarse en forma exclusiva a generación de calor, pero de ninguna manera son aptos para utilización en motores tipo Diesel, automotores o estacionarios.
- Tales energéticos son:
FUEL OIL No. 2: Aceite destilado para propósito de generación de calor en equipos que no tengan requerimientos especiales de combustible como el querosene.

CONTAMINANTES		
TRATAMIENTO DE SEPARACION		
CONTAMINANTES	ANTES	DESPUES
Cloro, % peso	0,17 - 0,47	0
S, %peso	0,17 - 1.09	0
Zn, ppm.	260 - 1787	Trazas
Ca, ppm	211 - 2291	Trazas
Ba, ppm	9 - 3906	Trazas
P, ppm	319 - 1550	0
Pb, ppm	85 - 21676	Trazas
Al, ppm	0,6 - 758	0
Fe, ppm	97 - 2411	Trazas

Tabla No. 3 : Concentración de contaminantes en el aceite usado tratado antes y después del tratamiento

MEZCLAS POSIBLES	PROPORCIONES (% Volumen)			VISCOSIDAD RESULTANTE	
	Aceite Usado	ACPM	Aceite Combustible	SSU, 38 °C	SSU, 50 °C
Fuel Oil No. 2	31	69		32,6	
Fuel Oil No. 2	52	48		37,9	
Fuel Oil No. 4	69	31		45,0	
Fuel Oil No. 4	88		12	125,0	
Fuel Oil No. 5 Light	66		33		123,0
Fuel Oil No. 5 Heavy	37		63		40,0

Tabla No. 4 : Mezclas posibles de aceites usados con otros combustibles para le pequeña y mediana

FUEL OIL No. 4: Combustible para calderas, que generalmente no requiere calentamiento para su combustión ni para su manejo.

FUEL OIL No. 5 Light: Combustible que eventualmente, dependiendo del equipo utilizado y del clima, puede requerir calentamiento para su manipulación y quemado.

FUEL OIL No. 5 Heavy: Combustible pesado que puede requerir calentamiento previo a su combustión y, en climas fríos, para su manejo.

Evaluación Financiera

La evaluación financiera de la planta de recuperación y transformación de los aceites usados, está basada esencialmente en el costo de compra del aceite usado. Por ello el análisis consideró dos escenarios.

Escenario 1

Contó con la adquisición, operación y mantenimiento de 4 vehículos destinados exclusivamente a la compra y recolección del aceite usado en los sitios de almacenamiento (estaciones de servicio, oleocentros e industrias diversas), y por lo tanto un precio bajo de compra del aceite usado.

Escenario 2

El segundo escenario contempló un mayor valor de compra del aceite usado, bajo la condición de que el propietario del aceite usado lo lleve a la planta para su venta (puerta a puerta), y por tanto no se incluye inversión en la adquisición de equipos de transporte para la recolección del aceite usado.

Resultados : Tiempo para un flujos de caja positivo

Realizados los cálculos, se estima que en cinco (5) años se logra alcanzar un flujo de caja acumulado con valores positivos, para el primer caso. El escenario para el cual se evaluó la posibilidad de comprar el aceite usado directamente en nuestra planta, el tiempo estimado para el cual los flujos de caja acumulados se vuelven positivos, se logra en el cuarto (4) año.

Resultados : Oportunidad adicional de negocio

Evaluadas estas 4 posibilidades a la luz de las condiciones colombianas, la alternativa más adecuada para la disposición de lodos es el encapsulamiento en clinker para la

producción de cemento; industria que ha mostrado un constante interés en participar en este tipo de investigaciones y de hecho en algunas plantas se han realizados algunas pruebas.

Resultados : Impacto Financiero frente a los cambios de precios

Un análisis de sensibilidad muestra el impacto financiero del proyecto causado por una variación en el precio de compra del aceite usado para cada uno de los escenarios y el resultado de la rentabilidad del proyecto, indicando una buena opción de inversión por los índices financieros alcanzados, en cualquiera de los dos casos.

Fig. No. 6.

Resultados : Requerimiento de Inversión adicional (apalancamiento financiero)

Determinado el flujo neto de fondos, se establecieron igualmente los demás indicadores financieros, sin tener en cuenta en ningún momento un apalancamiento financiero, asumiendo un pronóstico de ventas del 100% para cada año y la utilización total de la capacidad instalada a partir del séptimo (7) año, con los siguientes resultados, consignados en la ; Tabla No. 5.

Establecida la condición de tratar los aceites usados y con el fin de facilitar el establecimiento de sistemas adecuados para la recolección, transporte, aprovechamiento y/o disposición de aceites usados, se sugiere establecer un comité coordinador que desarrolle un esquema de gestión integral las áreas técnica, administrativa, económica y cultural, integrado por representante de los distintos actores públicos y privados, tal y como se observa en el siguiente Fig. No. 7.

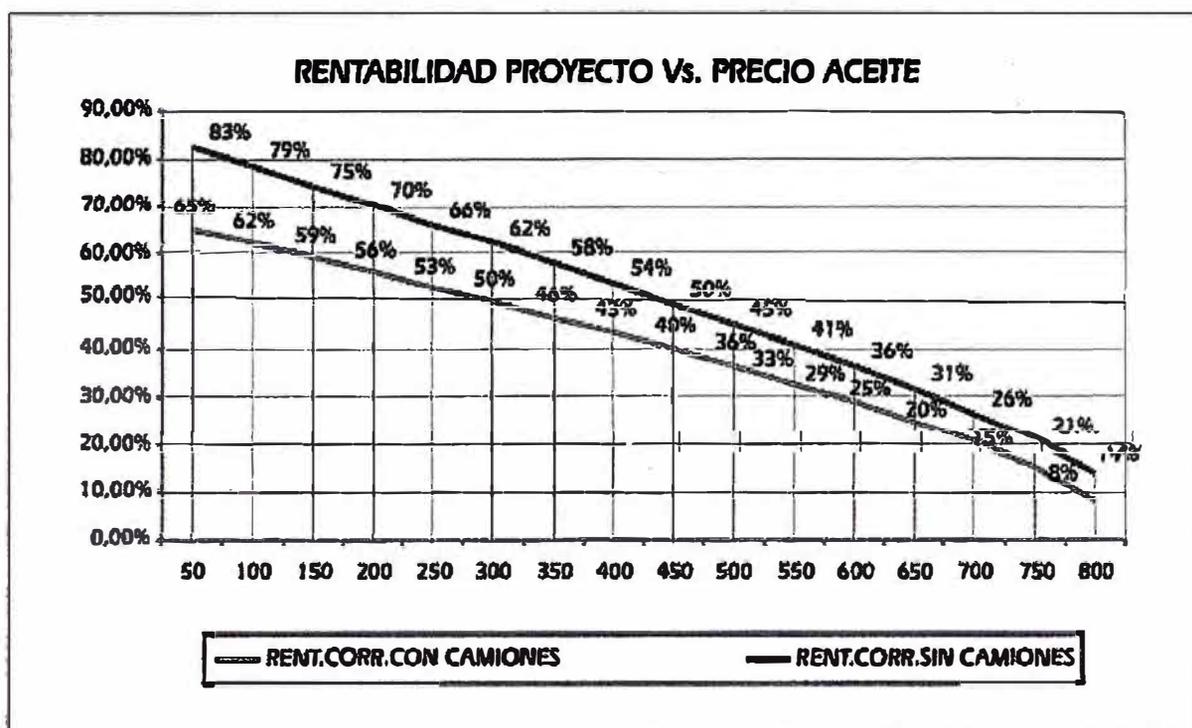


Fig. No. 6: Rentabilidad vs. precio de aceite usado

INDICADORES		ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
VALOR PRESENTE NETO	MUS\$	702,14	1 254,92
TIR REAL	%	33,10	43,64
PAYBACK	AÑOS	4,05	3,14
PAYBACK II	AÑOS	Mas de 7	5,05
INVERSION INICIAL	MUS\$	1 447,31	1 051,31

Tabla No. 5: Indicadores financieros sin necesidad de "Apalancamiento Financiero"



Fig. No. 7 : Esquema sugerido de un comité coordinador

III.3.2.7 ESQUEMAS TIPICOS DE TRATAMIENTO PREVIO

En las plantas de disposición final de aceites usados, las mezclas entrantes de aceites usados se separan en tres fracciones mediante calentamiento:

- Aceite
- Agua contaminada por aceite
- Lodo

El agua contaminada y el lodo se transfieren directamente a la planta de incineración, mientras que la fase de aceite se trata más (filtrado, calentamiento), terminando como un combustible adecuado para usarse como combustible suplementario en la planta de incineración. Los procesos se muestran en la Fig. No. 8.

III.3.2.8 INCINERADOR - CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

El Diagrama No. 2 muestra algunos de los principales datos necesarios para proyectar un incinerador de residuos. Los datos de potencia-calorífica de los residuos son necesarios para estimar la capacidad del horno y de la cámara de la combustión secundaria (SCC) o la proporción de basuras que pueden cargarse en el horno y en el quemador secundario. Además, la potencia calorífica determinará la necesidad de combustible. La información sobre el contenido de halógenos, azufre y metales pesados se usa para diseñar el sistema de limpieza de gases.

III.3.2.9. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

Después del vertido, la manera más universal de tratar residuos peligrosos es por incineración. En el incinerador, el residuo se oxida en un ambiente rico en oxígeno a altas temperaturas. Una planta de incineración que comprende de un incinerador para la quema por oxidación de residuos peligrosos, incluye el pre-tratamiento, pudiendo incluir pirólisis (degradación térmica sin oxígeno) u otro proceso de tratamiento como la generación de plasma (el plasma es un gas parcialmente ionizado originado por el calentamiento de este por un arco eléctrico, en hornos de arco) , dependiendo de sí los subproductos se incineren seguidamente con o sin recuperación de calor. Esto incluye plantas que queman residuos empleándolos como un combustible habitual o adicional para cualquier proceso industrial.

III.3.2.9.1 EFICIENCIA DE DESTRUCCIÓN Y SEPARACIÓN

El criterio más importante para los incineradores de residuos peligrosos es la destrucción completa de la mayoría de los compuestos peligrosos mientras se restringe el nivel de emisiones atmosféricas. Típicamente, se requiere una eficiencia de destrucción y separación (DRE) de 99.999%.

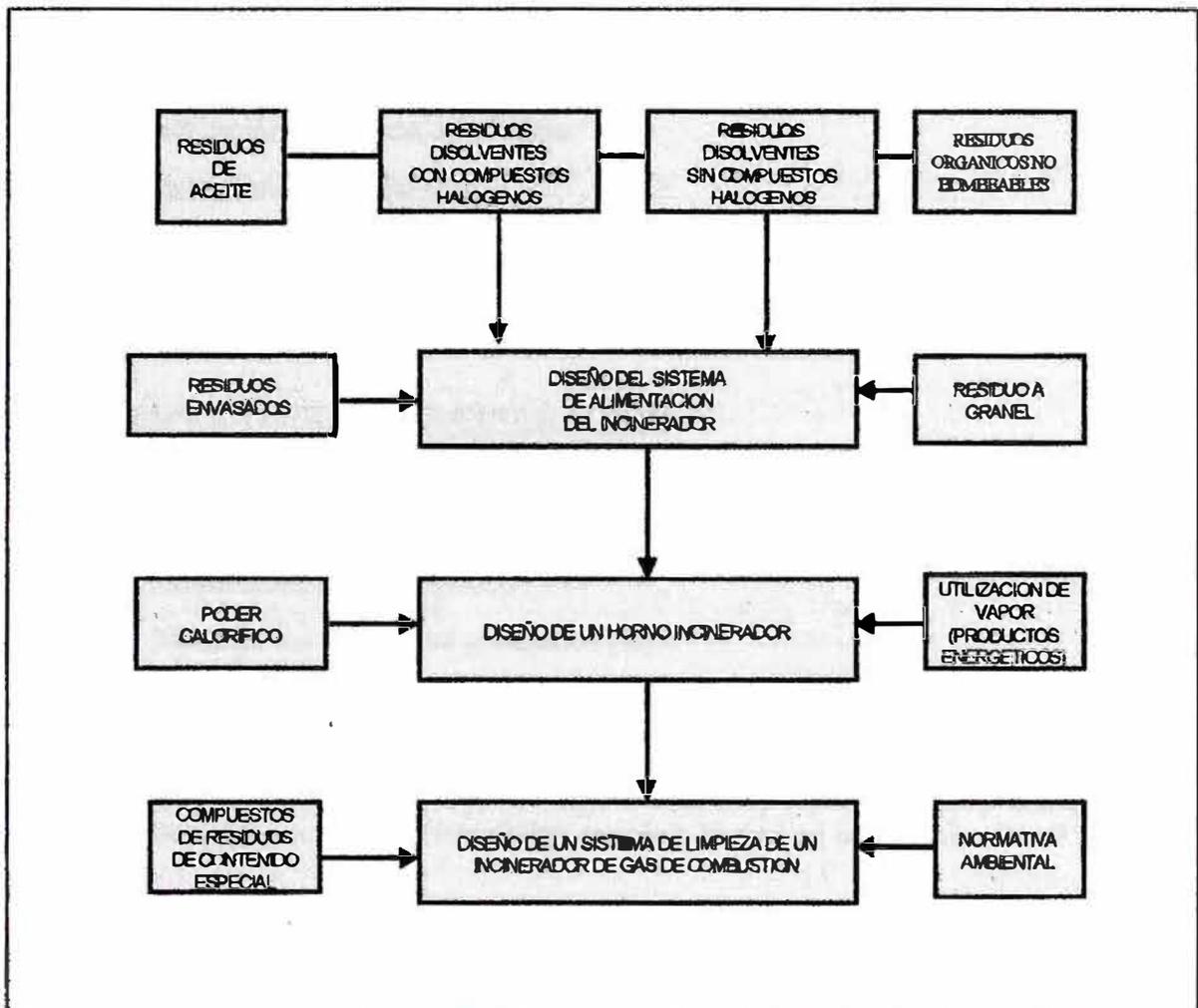


Diagrama No. 2 Categorización de residuos peligrosos para el proyecto de un incinerador de residuos peligrosos.

* Eficiencia de Destrucción y Separación

La DRE para una incineración se calcula mediante la fórmula:

$$DRE(\%) = ((1 - V_{out})/V_{in}) \times 100$$

Donde :

V_{in} = Velocidad de alimentación de componentes dañinos específicos al incinerador

V_{out} = flujo de la emisión de los mismos componentes al ser liberado a la atmósfera

Una DRE satisfactoria necesita :

- Tiempo de residencia adecuado de los gases en el incinerador.
- Tiempo de retención adecuado de sólidos.
- Temperaturas suficientemente altas
- Suficiente Oxígeno (hidrógeno si se incinera cloro o bromo).
- Turbulencia suficiente para mezclar los residuos y el oxígeno

III.3.2.9.2 TEMPERATURA DE INCINERACIÓN

- Temperatura máxima de la Llama (T_l) :

$$T_l = T_f + \frac{Q_1}{\sum W \cdot C_p}$$

Condiciones Adiabaticas.
Secc 9-40, Incineradores
Manual del Ing. Químico de
Perry.

Donde : T_f : temperatura de los residuos ($^{\circ}F$)

W : Masa de los productos generados (lb)

C_p : Calores específicos medios a una temperatura superior a T_f (BTU/lb. $^{\circ}F$)
Se obtiene de Figuras (Fig. 9-36, sección 9, Incineradores, Manual del Ing. Químico, Perry)

Q_1 : Poder Calorífico mas bajo (sumatoria de todos los calores de combustión de cada residuo).
Esta se obtiene de tablas (Tabla 3-203, sección 3, Manual del Ing, Químico, Perry)

- Transferencia de calor y Temperatura Aproximada del horno:

(Secc 9-40, Incineradores-Manual del Ing. Químico)

$$q = 0.172Ae((T_g+460)/100)^4 - (T_f+460)/(100))^4$$

Donde :

q : transferencia de calor del horno, BTU/h

0,172: Constante de Stefan-Boltzman

e : capacidad de emisión, aproximadamente 0,75 en aceites minerales

A : Area efectiva de absorción de calor , pies²

T_g : temperatura de los gases a salida del horno, $^{\circ}F$

T_f : Temperatura de la superficie de absorción, $^{\circ}F$

$$FQ_1 = q + \sum VC_p(T_g - T_f)$$

Haciendo uso de tablas (Ref. Tabla 9-30, sección 9-42, Equipos de Proceso de Encendido, Manual del Ing. Químico). se puede estimar las temperaturas.

Donde :

F : Flujo del combustible quemado (aceite usado), Lb/h.

III.3.2.9.3 REQUERIMIENTOS DE CAUDALES DE AIRE

Para evaluar las necesidades de caudal de aire para la combustión estequiométrica y predecir el flujo de gas y su composición, se requiere realizar en el aceite usado:

- Análisis (antes de la quema) de: contenido de humedad, sólidos volátiles, carbono fijo, no Combustibles.
- Análisis último (luego de la quema) de: carbono, oxígeno, azufre, halógenos, fósforo
- Potencia calorífica neta, mediante el contenido energético de los componentes presentes.

III.3.2.9.4 EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN

Partiendo de que la presencia de CO, reduce la eficiencia de una combustión, entonces conociendo la concentración de los gases obtenidos durante la combustión (para ello hay equipos portátiles), podemos decir que la eficiencia de la combustión (CE) se calcula de la siguiente relación:

$$CE = \frac{C_{CO_2} - C_{CO}}{C_{CO_2}} \times 100$$

Donde C_{CO_2} = Concentración de CO_2

C_{CO} = Concentración de CO

III.3.2.10 REACCIONES QUIMICAS PRODUCIDAS

Los mecanismos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación tienen lugar en sólidos, líquidos, sólidos líquidos y gases a altas temperaturas. El medio fluido puede ser laminar o turbulento pero generalmente se da el segundo. Esto sugiere que la incineración es un proceso complejo. que implica a la química, la física, la termodinámica y la mecánica de fluidos.

- Cuando el etano se incinera la reacción es:

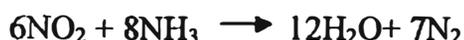


- Cuando se incineran hidrocarburos aromáticos la reacción es:



Durante la incineración, los enlaces químicos entre los diversos elementos de las mezclas reaccionantes se rompen y se tornan radicales libres dando lugar a los productos de la combustión completa CO_2 y H_2O .

El N_2 dará lugar a diferentes formas de óxidos de nitrógeno. Es decir, NO_2 , NO y N_2O , dependiendo de las circunstancias (temperatura, etc.). El NO se reduce en los gases de escape por introducción de NH_3 , mediante la siguiente reacción :



La reacción exigirá un catalizador y temperaturas mayores a 300°C .

III.3.2.11 TERMODINÁMICA DE LA INCINERACIÓN

La primera ley de la termodinámica, Ley de la Conservación de la Energía, establece que: "mientras la energía tiene muchas formas, y se intercambia de una a otra, la cantidad total de energía es constante. La segunda ley de la termodinámica establece: "El calor se transfiere de la región de temperatura más alta a la región de temperatura más baja"

Todos los procesos de incineración se ajustan a estas dos leyes de la termodinámica. El calor se transfiere entre los medios como resultado de un gradiente de temperatura. Una mezcla de residuos peligrosos tiene una potencia calorífica que se libera durante la incineración. Cada componente del residuo peligroso tiene una potencia calorífica particular (suponiendo liberación completa del calor). La potencia calorífica total de una mezcla de residuos es la suma de la potencia calorífica individual de cada componente. Puede determinarse la temperatura necesaria para la incineración mediante la potencia neta de la mezcla de residuos

III.3.2.12 INCINERACIÓN EN HORNOS ROTATIVOS

El horno rotatorio es la tecnología más común para tratar residuos peligrosos de corrientes multivariantes de distintos orígenes. El procesamiento de materia prima en estados sólidos, semisólido y líquido a temperaturas elevadas utilizando hornos rotatorios se ha venido usando en la industria durante muchos años. Se usa de forma habitual en los sectores del cemento, cal, arcilla, fosfato, mena férrica y del carbón. También los hornos de cemento tradicionales están abriendo ahora sus cámaras para ser usadas como incineradores de residuos peligrosos. Los hornos rotatorios cumplen varias funciones necesarias para la incineración, tales como:

- Transporte de sólidos
- Mezclado de sólidos
- Contención de calor para el intercambio de calor
- Reacciones químicas

Proporcionan los medios para conducir los gases de escape de la cámara de combustión secundaria y después al sistema de limpieza de gases de escape. Los hornos rotatorios son capaces de tratar sólidos gruesos, lodos, líquidos y residuos en contenedores. En la Fig. No. 9 aparece un horno rotatorio típico, como parte de una planta de incineración.

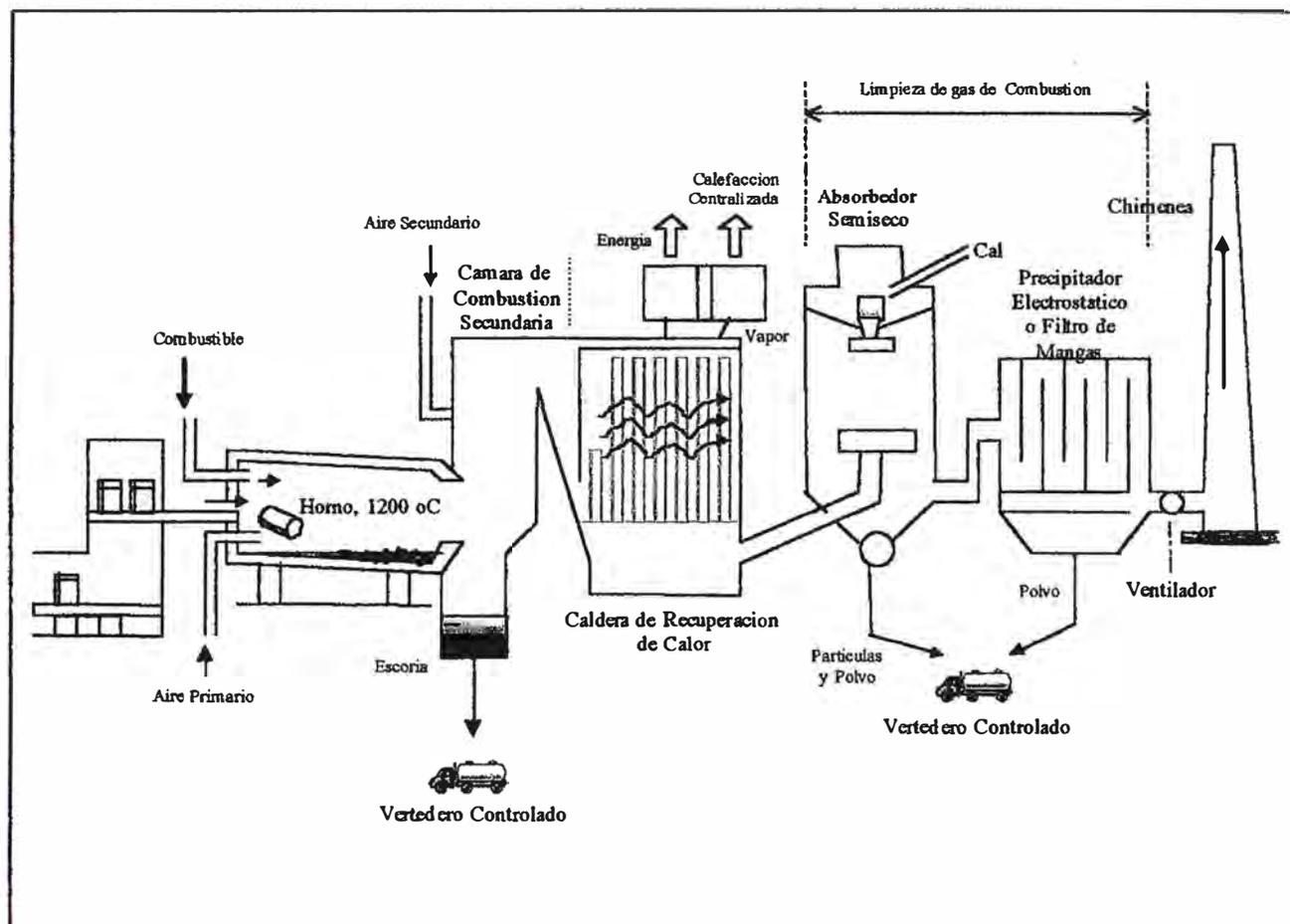


Fig. No. 9 : Esquema típico de una planta de Incineración

Temperatura, - Tiempo - Turbulencia.

El horno usado para la destrucción de residuos peligrosos es relativamente corto con 10 a 12 m y con un diámetro de aproximadamente 3,5 a 4,8 m. La temperatura en la carrera del horno, en el modo escorias, normalmente es de 1 100 a 1 300 °C. La demanda de regulación de un sistema de incineración, sin embargo, normalmente no está orientada a las temperaturas en el propio horno sino a las condiciones medidas en la cámara de la combustión secundaria (SCC). La temperatura prescrita aquí es de 1 200 °C en condiciones normales. Cuando se tratan tipos de residuos especiales.

Por ejemplo: Para hidrocarburos aromáticos clorados son esenciales temperaturas en el rango de 1250 a 1350 °C.

El tiempo de retención para los gases de incineración en las diversas etapas del proceso de incineración juega un papel muy importante. Para el lado de "combustión" del sistema, en la mayoría de los casos la normativa dicta que el tiempo de retención debe ser por lo menos 2 s a la temperatura prescrita en el SCC. A temperaturas más altas de 1,200 °C el tiempo puede reducirse.

Cámara de Combustión Secundaria (SCC).

Después del horno rotatorio viene la cámara de combustión secundaria (SCC). Este tiene por finalidad quemar de remanentes no quemados a la salida del horno. Para asegurar que todo material orgánico se quema completamente, se introduce combustible adicional y aire de combustión secundario. La normativa requiere que en la SCC se tenga normalmente un tiempo de retención de 2 segundos a 1,200 °C. La turbulencia necesaria en la SCC, en los diseños modernos, se asegura por una sección transversal circular, donde los quemadores se colocan en posición tangencial.

III.4 TECNOLOGÍAS ACTUALES

Entre las principales tecnologías actuales tenemos:

III.4.1 PADELI

Criterio : Prolongar la vida útil del lubricante

Partiendo de que un aceite lubricante tiene que ser cambiado por otro nuevo, como consecuencia de haber perdido sus propiedades físico-químicas, este programa busca reducir los factores que inciden negativamente en el buen desempeño del lubricante.

Al implantar en una empresa el PADELI (Programa de Alta Dirección en Lubricación Integral) que utilice tecnologías ecoeficientes, basado en mantener los aceites limpios constantemente por medio de Tecnologías Limpias y Programas Ecoeficientes, se podría reducir fácilmente el 50% del consumo de aceites lubricantes en la industria, con los consecuentes beneficios ecológicos, y en adición los beneficios por conceptos de reducción de costos de manufactura, confiabilidad, calidad, seguridad, modernidad, productividad.

El PADELI ataca el problema básico:

"Mayor Consumo de Lubricantes = Mayor Ineficiencia"

En los países donde los lubricantes se consideran Aceites Peligrosos se tiene que seguir un esquema de manejo, de acuerdo a las Leyes, Reglamentos y Normas dictadas para ello.

En la economía ambiental se ha llegado a la conclusión de que es mucho más barato prevenir la contaminación que remediarla.

Los costos aumentan de forma exponencial a medida que se quiere volver un sitio contaminado a su estado original.

" Dejar de cambiar aceites es un gran cambio"

En la industria de la transformación, la decisión para sustituir los aceites de un equipo de proceso se toma basándose en la pérdida de propiedades críticas de lubricación, que se debe a la contaminación o degradación del aceite.

Para lubricantes que no se encuentran sometidos a temperaturas elevadas, como el aceite hidráulico y para turbinas, si se realiza una limpieza adecuada librándose de contaminantes, puede extenderse la vida útil del aceite hasta 10 veces, además de beneficiar la operación del equipo lubricado. Los beneficios son muy altos ya que el aceite lubricante al ser la sangre de los equipos de proceso, nos refleja la salud de éstos señalando sus enfermedades; es decir, en la medida en que los niveles de contaminación de un aceite lubricante se incrementan, en esa misma medida, los riesgos de paros de planta imprevistos o rotura de maquinaria se

incrementan, con los consecuentes incrementos de costos de manufactura y los correspondientes riesgos de seguridad y salud.

Podríamos sintetizar afirmando que si se atacan las causas raíz que generan la contaminación de aceites lubricantes, no sólo se tendrá un impacto favorable en la reducción de aceites lubricantes usados, sino que también los beneficios económicos esperados serían muy altos.

"una lubricación limpia representa un gran negocio para las industrias sustentables"
implantación de programa de alta dirección en lubricación integral (PADELI).

En Plantas Industriales de Refinación y Petroquímica donde se han implementado Programas de Aumento de la Confiabilidad vía el Control de la Contaminación de lubricantes en equipos mecánicos, se han visto reducciones en la generación de Aceites Usados (Residuos Peligrosos) de más del 50%.

Al analizar más a detalle los resultados obtenidos, han surgido una serie de beneficios tangibles por cuantificar como: Los derrames asociados a fallas imprevistas en equipos de proceso y el impacto favorable en los índices de accidentes y salud ocupacional. Asimismo, se obtienen importantes ahorros de energía y la reducción en las necesidades del uso de agua de enfriamiento que con frecuencia se toma de los ríos y mantos acuíferos para los equipos de mecánicos de proceso y se retorna a ellos después de utilizarla.

Una forma muy sencilla de explicar el porqué de todos estos beneficios, es señalando que en las plantas de proceso continuo existen equipos dinámicos que presentan diferentes niveles de fricción y que el principal elemento empleado para reducirlos es utilizar aceite lubricante. Debido al uso constante del aceite lubricante éste se contamina incrementado la fricción y por lo tanto, aumentando el consumo de energía y el desgaste en los equipos mecánicos.

Bajo un esquema tradicional de manufactura, la opción sería cambiar aceites sucios por aceites nuevos.

Sin embargo, en el esquema de un PADELI, la opción sería: Mantener los aceites limpios constantemente por medio de Tecnologías Limpias y Programas Ecoeficientes.

Una de las grandes industrias generadoras de considerables volúmenes de desechos, es la industria de la Refinación y Petroquímica de los crudos. Por tanto aplican tecnologías orientados a reducir sustancialmente la emisión de residuos. Estas son 2 de las tecnologías: 1) Tecnologías de Lubricación por Niebla Recirculante para Lubricar Rodamientos (cambio en los sistemas de lubricación); 2) Equipos de Purificación de Aceite Lubricante por Presión Positiva de última generación (extensión de la vida útil de los lubricantes).

Estas dos tecnologías son anclas de un PADELI y han demostrado que su implantación rediseña virtualmente los equipos mecánicos en cuanto a su diseño Tribotermodinámico original, reduciendo sustancialmente la generación de aceites usados un 50%, reduciendo consumos de energía un 2%, aumentando la confiabilidad de las máquinas rotantes (MTBF) en un 100%, reduciendo los costos de reparaciones un 50%, entre otros resultados favorables en cuanto al Desempeño Tribotermodinámico Operativo de los Equipos Mecánicos durante la Manufactura.

III.4.2 PROCESO INTERLINE

Criterio : Reutilización de los aceites usados, mediante su refinación

Hace varios años se inició la búsqueda de nuevas tecnologías de refinación de aceites usados, con el objetivo de encontrar un proceso económico y ecológicamente adecuado, que establece el reciclaje, en sus diferentes modalidades (ver sección III.3.1, Reciclaje) como opción prioritaria de gestión para estos residuos.

En muchos países, la opción de refinación de aceites usados a bases lubricantes es definida como prioritaria. Esta prioridad se basa en las ventajas ambientales de los procesos de refinación, por su mayor ahorro de materias primas, menores emisiones y olores, y menor producción de residuos o efluentes.

La producción de bases lubricantes a partir de la refinación de aceites usados requiere separar del residuo original todos aquellos contaminantes (agua, asfaltos, aditivos, metales, etc.) que se han ido acumulando en el aceite durante su utilización.

El proceso INTERLINE, patentado por la compañía norteamericana INTERLINE HYDROCARBONS INC., en 1998, se basa en la tecnología de extracción con propano líquido, que permite conseguir rendimientos de refinación muy altos, con inversiones moderadas, lo que hace viables instalaciones de refinación de baja capacidad (25 – 30 000 TM/año). Ello supone una notable ventaja competitiva, desde el punto de vista de organización de la logística y la gestión de los residuos.

A lo largo de 3 años se ha logrado mejorar esta tecnología, llegando a la configuración actual del proceso, que presenta las siguientes innovaciones:

- Una etapa de pre-tratamiento químico en continuo del aceite usado.

- Nuevo diseño de la etapa de extracción del aceite usado, especialmente de la mezcla de propano y aceite, que mejora el contacto inicial entre las fases, y aumenta el rendimiento de la extracción.
- Nuevos diseños de las etapas de destilación del aceite extraído, que disminuyen el riesgo de ensuciamientos.

Las mejoras introducidas en el proceso han permitido obtener un producto de calidad, lo que ha hecho posible prescindir en la práctica de la etapa final de terminación del producto (por tierras adsorbentes o por hidrogenación), habitual en otros procesos de refinación.

La fig. No. 10, muestra un esquema del proceso de tratamiento completo, cuyas características más destacadas son:

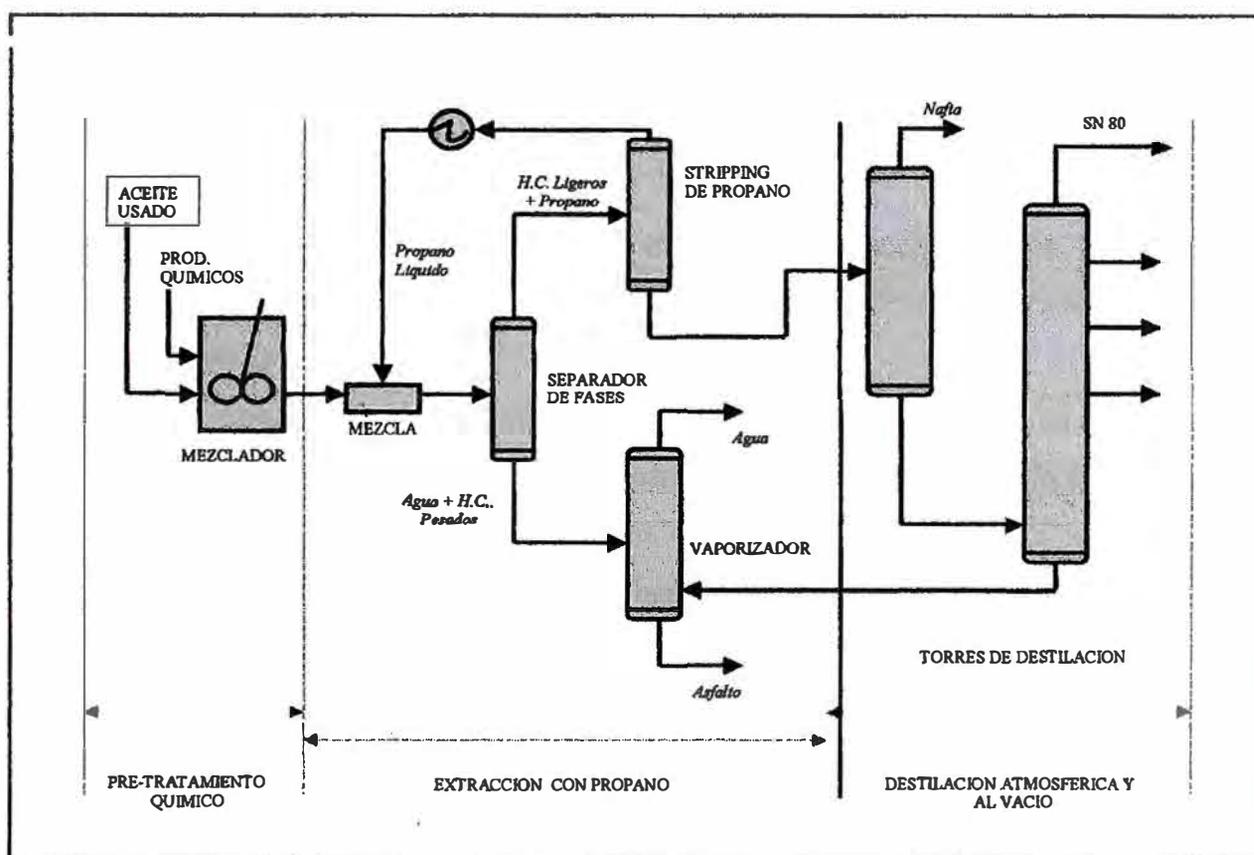


Fig. No. 10 : Proceso Interline

1. El pre-tratamiento químico tiene por objeto dejar el aceite usado en condiciones de ser extraído eficientemente por el propano.
Es un tratamiento a temperaturas moderadas, con productos químicos y catalizadores, realizado de forma continua y permite eliminar más eficientemente los aditivos metálicos de los aceites en la etapa de extracción.
2. La extracción con propano, realizada a temperaturas próximas a la ambiente, permite separar mas aditivos, el agua y los asfaltos sin que se produzca descomposición térmica, evitando así los problemas de craqueo, olores y ensuciamientos en los equipos.
3. La sección de destilación del aceite extraído permite, obtener aceites base con características adecuadas de color, olor, acidez, estabilidad, asfaltenos, etc., sin necesidad de tratamiento final por tierras o por hidrogenación.

Experiencias Exitosas

Planta ECOLUBE, España, 2000

La planta de ECOLUBE comprende un centro de transferencia de aceites usados, y una planta de regeneración de aceites, basada en el proceso INTERLINE, con una capacidad de Tratamiento de 27000 TM/año.

El aceite recibido para su refinación en el Centro de Transformación es sometido a un análisis previo, para determinar si la partida es apta o no para su refinación, dependiendo básicamente de su contenido en PCB, que, si supera las 50 ppm, obliga a su eliminación total por incineración en instalaciones autorizadas (lo que hasta ahora no ha ocurrido en ningún caso).

Posterior a este análisis, el aceite es trasvasado a los tanques de almacenamiento de la planta de refinación, desde donde se alimenta al proceso, siguiendo la línea esquematizada en la figura anterior.

Como productos finales, se recuperan del aceite usado bases lubricantes (un 75% del aceite usado tratado), componentes asfálticos (18%), que se comercializan, y un 2% de ligeros que se utilizan como aporte energético en la propia planta. El agua contenida en el aceite inicial se separa y se envía al gestor autorizado para su tratamiento.

Esta planta ha invertido cerca de 10 millones de euros, incluyendo terrenos, edificios y obra civil, instalaciones principales y auxiliares, tanques de almacenamiento del Centro de Transferencia asociado, ingeniería, tecnología, laboratorio, gastos de puesta en marcha e intereses durante la construcción.

Equipos Utilizados

Los equipos que integran la planta son los habituales en la industria petroquímica: tanques de recepción de materia prima y almacenamiento de productos, reactores para el pre-tratamiento a baja temperatura, sistema de mezcla del aceite con el propano y separación de fases, torres de destilación, e intercambiadores de calor. Como sistema energético, la planta cuenta con una caldera de gas natural, para calentar el aceite térmico, y un equipo de destrucción de las fracciones orgánicas ligeras, con recuperación de calor.

Las plantas de este tipo han satisfecho las expectativas del proceso en cuanto a rendimiento, calidad de los productos y consumos de energía, productos químicos y servicios.

En la tabla No. 6, que se presenta a continuación, se muestran los datos de la calidad de los principales productos obtenidos.

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	SN 150	SN 350
Viscosidad ASTM D-445 a 100° C, cst.	5.0 – 5.5	7.5 – 8.0
Indice de viscosidad ASTM D-2270	Mas de 100	Mas de 100
Color ASTM D-1500	Menos de 1.5	Menos de 2.0
Indice de neutralización ASTM D-664	Menos de 0.03	Menos de 0.03
Punto de congelación ASTM D-97, °C	-9	-9
Punto de inflamación :		
Pensky Martins, ASTM D-93 (°C)	220	240
Cleveland ASTM D92 (°C)	235	245

Tabla No. 6 : Calidad de los principales productos obtenidos

III.4.3 CATALIZADORES ZEOLITICOS

Criterio : Reciclado Químico de aceites

Fundamento Teórico

Las arcillas, por su comportamiento ácido, generan reacciones químicas entre sustancias sin ser ellas mismas afectadas químicamente, promoviendo con ello procesos de transformación química como agentes catalizadores. Estos elementos sólidos pueden modificarse a fin de :

1) Alojar en el interior de su estructura cierta cantidad de agua, dependiendo del tipo de elemento químico presente entre las láminas. Se dice en este caso que el material es hidrófilo.

2) El carácter hidrófilo del material puede ser suprimido parcial o totalmente intercambiando los elementos químicos iniciales por otros compuestos y convertirlo en organofílico, o sea que la arcilla adsorbe moléculas de tipo orgánico.

3) Como consecuencia de las manipulaciones de modificación que se realicen, este material puede aceptar o rechazar la penetración de moléculas en su estructura interna en función del tamaño de las mismas, por lo que se comporta como malla molecular.

4) El "obús químico" utilizado para separar las láminas puede a su vez producir pilares que hacen más rígida la estructura original, impidiendo que se colapse como un castillo de naipes.

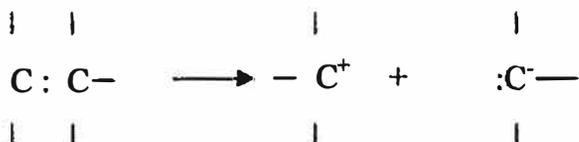
5) Por último, estas arcillas son sólidos ácidos, comparables a los inorgánicos como el sulfúrico o clorhídrico, siendo esta propiedad un factor decisivo para la transformación química, pues genera la formación de iones " carbonios"

Actualmente se diseñan procesos en los que se trata de invertir la menor cantidad posible de energía y, conocida la problemática que existe alrededor de la degradación ecológica de nuestro planeta, se buscan materiales cada vez más selectivos para orientar la conversión, con mayor precisión, hacia productos más puros, impidiendo las reacciones secundarias indeseables. La madurez e importancia de esta disciplina de la ciencia es tal, que se estima hoy en día que en los países altamente desarrollados el 20% del producto interno bruto se deriva de procesos que dependen de catalizadores.

Se comprobó de que existe una similitud en el comportamiento de los sólidos catalíticos (arcillas, zeolitas, arcillas modificadas) con el de los ácidos fuertes que intervienen como catalizadores en solución. Esto permitió a los científicos especular de la existencia, en los sólidos catalíticos, de centros activos ácidos que intervenían en las reacciones de desintegración de las moléculas.

Ya en 1947 el mecanismo de las reacciones se había esclarecido lo suficiente como para proponer que se llevaban a cabo por medio de intermediarios iónicos. Se sabe hoy en día que el primer paso en estas reacciones es la formación de un ion carbonio, el cual podemos visualizar como un catión orgánico con una carga asociada al átomo de carbono.

Una de las maneras como se forman los iones carbonio es por la fragmentación de una molécula estable en la cual de los fragmentos toma dos electrones y las especies resultantes forman un par iónico:



Las arcillas presentan sitios ácidos de fuerza variable. Es obvio que la manera de identificarlos y contarlos será haciéndolos reaccionar con bases. Si conocemos la estructura de la base empleada y su fuerza relativa, entonces podemos, con la ayuda de diversas bases, hacer una especie de mapa sobre la distribución y tipo de sitios ácidos presentes. Por otra parte se sabe actualmente que las diversas reacciones catalizadas por sólidos ácidos tienen en muchos casos requerimientos específicos sobre la naturaleza y fuerza del ácido para llevarse a cabo. Por lo tanto, dependiendo de la forma de preparar el sólido catalítico y de activarlo es posible hacer concordar los requerimientos de acidez con los de reactividad.

Se piensa que, en primer término, las arcillas de tipo montmorillonita concentraron en su interior los ácidos grasos por un fenómeno de adsorción, expulsando el agua estructural (es decir que se volvieron parcialmente organofílicas) y con esto se generaron centros ácidos activos que catalizaron las reacciones de descarboxilación y desintegración.

El procedimiento más empleado por la industria de la refinación para aumentar la producción de hidrocarburos gaseosos, útiles en los procesos petroquímicos de las gasolinas, diesel y lubricantes a partir de ciertas fracciones del petróleo, es sin duda el proceso de desintegración catalítica. La fracción se pone en contacto con un catalizador ácido a temperatura elevada y éste promueve la fragmentación de las moléculas, reduciéndolas a tamaños menores. Las arcillas naturales fueron usadas intensamente como catalizadores con este propósito hace unos 45 años. Básicamente se emplearon montmorillonitas tratadas con ácidos (proceso Houdry).

Las arcillas fueron paulatinamente desplazadas por otros materiales. En particular, en los años sesenta hicieron su aparición las zeolitas (tipo de arcilla deshidratada), que ofrecían mayor conversión, altos rendimientos en gasolina y elevada estabilidad frente a la

temperatura. La estructura zeolítica, formada por bloques de SiO_4 y AlO_4 se une entre sí mediante puentes de oxígeno, formando estructuras que tienen poros con dimensiones moleculares y que, dependiendo del tipo de zeolita en cuestión, poseen aberturas de poros que van desde los 2 Å hasta los 8 Å. De esta manera la zeolita tiene la capacidad de permitir o no la entrada de reactivos en el interior de su estructura y llevar a cabo las reacciones ácidas con suma eficiencia.

La necesidad de refinar crudos pesados trae consigo la dificultad de hacerlo con los materiales zeolíticos de que disponemos hoy en día: la abertura de los poros en las zeolitas es mucho menor que el tamaño de muchas de las moléculas presentes en los crudos pesados. Para resolver el problema de la refinación de los crudos actuales, se han mencionado varios tipos de estrategias, las más importantes son las siguientes:

- 1) Emplear zeolitas con abertura de poro mayor a las que hoy empleamos. A nivel mundial se intenta sintetizar afanosamente nuevas estructuras que posean esta característica sin que pierda la actividad catalítica.
- 2) Fragmentar inicialmente el crudo con otro tipo de catalizadores que produzca moléculas capaces de penetrar las cavidades zeolíticas.
- 3) Buscar otro tipo de materiales porosos con alta actividad y selectividad apropiada. En este caso, las arcillas expandidas resultan ser los candidatos idóneos como también lo son para la estrategia precedente.

Veamos qué sucede cuando una fracción de crudo pesado se hace pasar por un reactor donde hay un catalizador, a la temperatura de 560°C . En el experimento se utilizarán dos tipos de sólidos: el primero estará constituido por un catalizador de desintegración a base de zeolita, al que llamaremos "CZ". En el segundo experimento emplearemos un catalizador mixto, compuesto de 20% de zeolita y 80% de arcilla del tipo montmorillonita expandida con una sustancia de aluminio, y que llamaremos "CAZ". La corriente que emerge del reactor es analizada en sus componentes, con lo cual se puede determinar qué porcentaje de la carga se convierte en productos (% Conv.) y de lo convertido, cuánto es gasolina y aceite ligero, lo que denominamos selectividad, S_{gasolina} y $S_{\text{aceite ligero}}$ respectivamente.

Observemos los resultados de las dos experiencias en la Tabla No. 7.

PARAMETRO	Catalizador CZ	Catalizador CAZ
Conversión del Crudo	57,2	72,10
Selectividad hacia la gasolina (%)	27,60	30,40
Selectividad hacia el aceite ligero (%)	15,10	12,70

Tabla No. 7. Conversión catalítica de un crudo mediante catalizadores a base de zeolitas (CZ) y de zeolita + arcilla (CAZ).

Como se puede apreciar, la estrategia parece dar resultado ya que la adición de la arcilla al catalizador de zeolita hace que aumente la conversión del reactivo así como la cantidad de gasolina producida, por lo que se concluye que las grandes moléculas son fragmentadas en la arcilla y luego pasan a la zeolita en donde se continúan las reacciones de desintegración.

Hemos mencionado antes que muchos crudos pesados contienen cantidades importantes de compuestos orgánicos de níquel y vanadio. Las arcillas expandidas (combinación de arcilla y zeolita) ofrecen la posibilidad de atrapar estas moléculas por medios catalíticos, impidiendo así que dañen los catalizadores de zeolita. Para eliminarlos se requiere que el sólido contenga dos funciones: una ácida, que provoque la ruptura de los enlaces, y otra capaz de introducir hidrógeno en los fragmentos resultantes, ya que si no se hidrogenan totalmente tienden a formar residuos carbonosos que inhabilitan la actividad catalítica.

III.4.4 SISTEMA COAT7

Criterio : Análisis y Tratamiento continuo de aceites en pleno desempeño

El sistema COAT7 utiliza tecnología analítica avanzada, básicamente, al conocer cómo los aditivos de funciones específicas se degradan con el tiempo, el sistema COAT7 optimiza el tiempo de servicio de los lubricantes. Esto se lleva a cabo mediante el reabastecimiento de los aditivos seleccionados que son agotados.

La tecnología analítica usada es la espectroscopia de transformación infrarroja de Fournier y un accesorio integrado de celdas de flujo libre y de muestreo. COAT7 utiliza un interfaz de software de propiedad exclusiva, COAT SCAN7 , para controlar el proceso completo de análisis de lubricantes.

Inicialmente, las características lubricantes de distintos depósitos de aceite son programadas dentro del sistema COAT7 para ser utilizadas como datos de referencia. Subsiguientemente el personal de planta realiza el análisis del aceite asistido por el sistema COAT7, si la reducción de un aditivo seleccionado cae por debajo de un límite predeterminado, el sistema COAT7 sugiere automáticamente medidas correctivas, desde reabastecimiento de aditivos hasta cambio de aceite, dependiendo del estado general del lubricante y la maquinaria en cuestión.

Una versión en línea totalmente integrada del sistema COAT7 tomará la muestra automáticamente de varios depósitos de lubricantes a intervalos predeterminados e iniciará los correctivos del caso cuando sea necesario. Por ejemplo, se puede activar automáticamente una válvula permitiendo que bombee la cantidad requerida de aditivos específicos agotados directamente dentro del depósito. El sistema COAT7 también tiene la capacidad de rastrear contaminantes tales como agua, combustible, hollín, solventes, etc. presentes en el lubricante. El sistema COAT7 se diseñó básicamente para optimizar la eficiencia y la vida útil de aceites lubricantes. La extensión de la vida útil ha sido comprobada en condiciones de laboratorio donde el reabastecimiento de aditivos ha resultado en un incremento de la vida útil del lubricante de dos a cuatro veces. La extensión de la vida del lubricante mediante el uso del sistema COAT7 reduce significativamente la eliminación del lubricante, el consumo y la dependencia de los recursos naturales. El sistema COAT7 en sí es ambientalmente beneficioso ya que el análisis del lubricante se lleva a cabo sin el uso de reactivos químicos ni solventes. El sistema COAT7 está disponible en dos modelos: modelo C-1 y C-2, ver fig. 11.

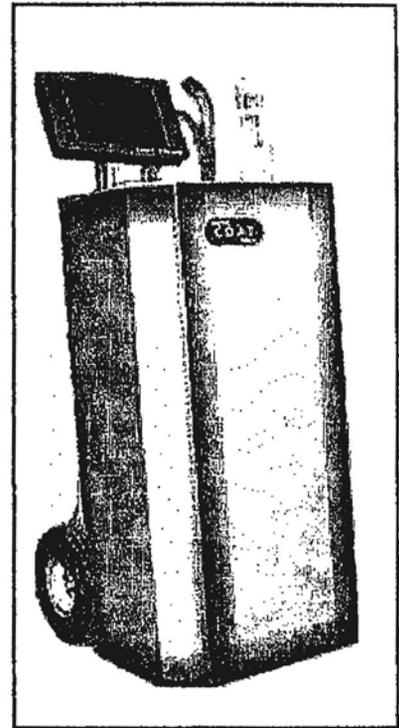
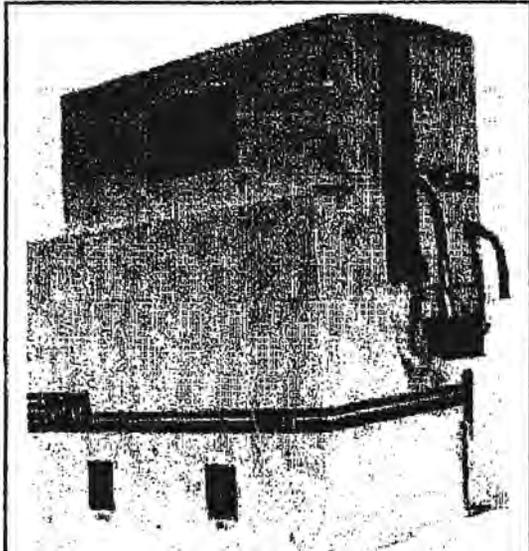


Fig. No. 11 : Equipos que aplican el sistema COAT7

III.5 EJEMPLO DE UNA PLANTA MODELO DE TRATAMIENTO TERMICO

Una instalación para el tratamiento de residuos peligrosos tendrá, además de una planta de incineración, otras plantas para el tratamiento de aceites usados y productos inorgánicos. La Fig. No. 12, muestra las diferentes instalaciones de una moderna (Kommunekemi, Dinamarca) y la distribución de los residuos entrantes. Las plantas requeridas y el porcentaje de residuos tratados por cada una son:

- Planta de Incineración: 53%
- Planta de Tratamiento de Residuos Inorgánicos : 14%
- La planta de Tratamiento de Aceites Usados : 32%

Nótese que el 53% de los residuos entrantes van directos a la incineración. Después que se ha extraído del aceite el agua y el lodo, este componente del 32% va al incinerador en diferentes corrientes. Nótese que el aceite purificado en la Planta de Residuos de Aceites se usa como combustible para la incineración de los fangos.

Los aceites usados recibidos en la Planta de Kommunekemi en el 2002 se muestran en la Tabla No. 8. Los aceites usados constituyen aproximadamente un tercio del total (32%), mientras que los orgánicos (libres de halógenos y azufre) y los inorgánicos constituyen la otra fracción. La fracción inorgánica es el 14% del total tratado.

En total se procesa 87 243 toneladas al año.

GRUPO DE RESIDUOS Clase K	TIPO DE RESIDUOS	CANT. (Tn.)	% EN PESO
A	Aceite Mineral	18,79	21,5
B	Disolventes Halogenados	2,57	3,0
C	Disolventes	6,40	7,5
H	Orgánicos Libres de Halógenos y Azufre	42,06	48,2
T	Pesticidas	7,17	0,80
K	Residuos conteniendo mercurio	4,53	0,5
X	Inorgánicos	10,96	12,50
Z	Otros	5,28	6,0
TOTAL		87,24	100%

Tabla No. 8 : Residuos recibidos en la planta, % en peso y toneladas.

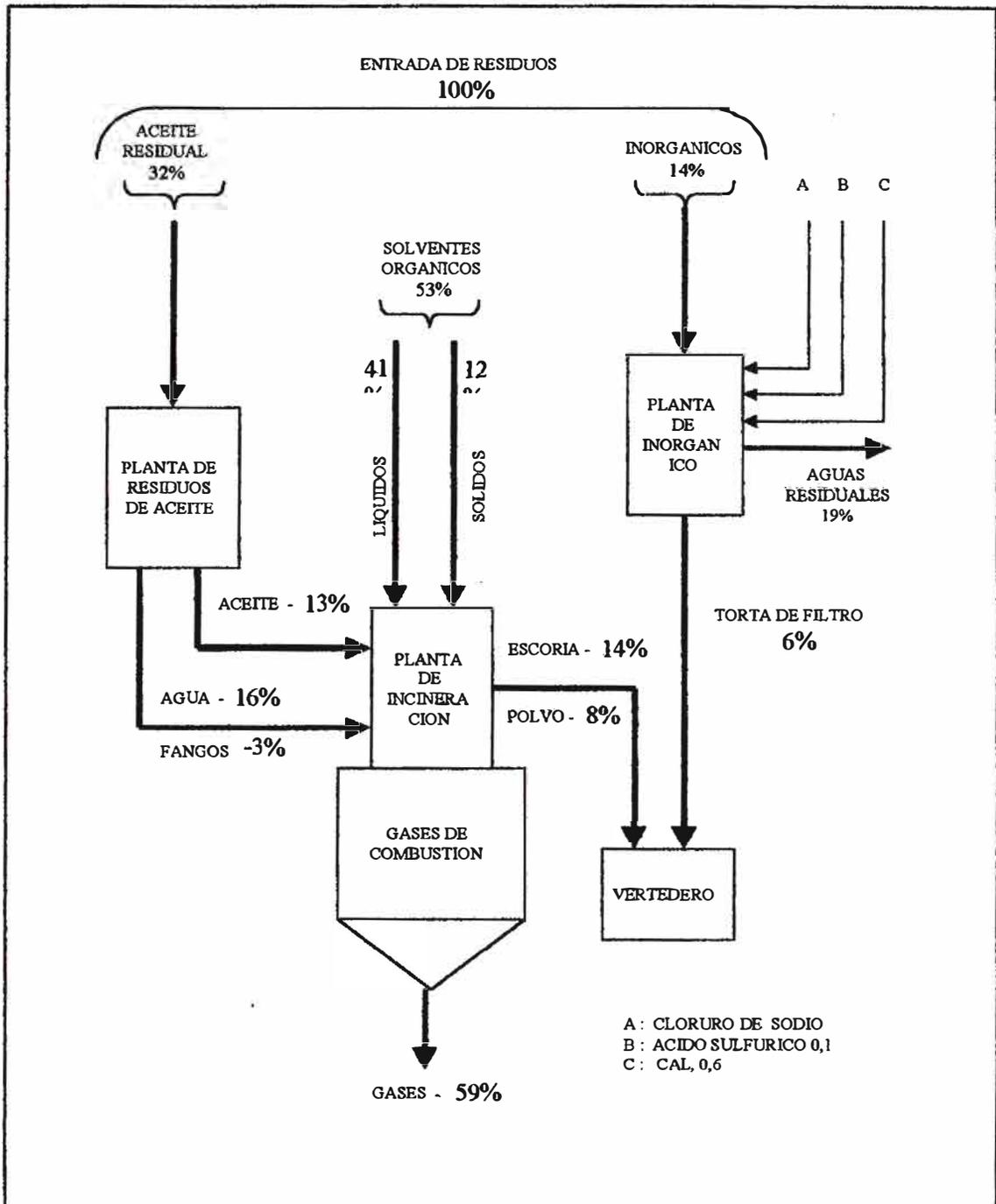


Fig. No. 12 : Instalaciones de la Planta de Kommunekemi - Dinamarca

Recepción de Aceites Usados

En la recepción, se retiene el residuo mientras se muestrea y se analiza. En principio hay dos enfoques diferentes para el proceso de muestreo:

- Pre-muestreo
- Muestreo al azar.

El método de pre-muestreo está basado en un procedimiento en que se toma una muestra representativa por el generador del residuo y se envía a la planta de tratamiento para un "análisis de aceptación". En la planta se analiza la muestra para determinar varios parámetros clave. Si se acepta, se notifica al generador de residuos y se puede proceder al embarque del envío de residuos. Si se rechaza, se discute entre los responsables de la planta de tratamiento y el generador de residuos para su tratamiento adecuado. El problema básico con este método es realizar la difícil tarea de toma de muestra representativa y la práctica nos demuestra que es una operación exigente, se toman más muestras con la pre-muestra. Este último procedimiento es conocido como impresión digital".

En el muestreo al azar el residuo se analiza por primera vez al llegar a la planta. El número de muestras que se debe tomar para análisis depende del historial del generador de residuos y de la cantidad de residuos que transporta. La decisión acerca de cuánto trabajo analítico se ha de llevar a cabo queda a decisión del químico de evaluación en la planta de tratamiento. El problema de usar este método es que todo el transporte y las medidas de seguridad dependen de los datos incluidos en el documento de manifiesto. Si los datos del manifiesto son incorrectos, podría producirse un accidente. Sin embargo, este método se ha venido usando desde 1972 hasta ahora en Dinamarca sin ningún accidente en el transporte. De 1972 a 1993 se han tratado más de 1,3 millones de toneladas de residuos peligrosos en Kommuneki, hasta 110 000 toneladas anuales en los años más recientes.

Aspectos Analíticos

Tratar residuos significa que puede y podría estar involucrado un gran número de compuestos. Intentar analizar cada componente probable no sería práctico ni posible. Es por supuesto muy interesante saber la composición exacta del residuo, pero visto desde la perspectiva de quien va a tratar los residuos sólo unos pocos parámetros tienen algún interés aparte del académico. Las propiedades de un residuo que son de interés son las que tienen una influencia en el manejo, mezclado y tratamiento, así como las que tienen influencia en la composición del agua efluente y gases de escape. La lista de parámetros de residuos

importantes que se muestra más abajo no se considera completa pero da una idea de los parámetros de interés para quien va a tratar los residuos:

- Reactividad química
- Radiactividad
- Potencia calorífica
- Halógenos (F, Cl, Br, I)
- Azufre
- Fósforo
- Arsénico
- Compuestos de metales pesados incluyendo mercurio
- Para residuos inorgánicos, compuestos complejantes (por ejemplo, NH_4^+ , cianuros y nitratos).

III.6 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA ACEITES USADOS

RESIDUOS INVOLUCRADOS

Han sido considerados los siguientes residuos :

No.	RESIDUO	
	DENOMINACION	TIPO
1	Aceite Usado y Aceite usado fuera de especificacion	Peligros

PROGRAMA A DESARROLLAR

El servicio se desarrollará en 4 etapas que se indican a continuación :

- 1.-Recojo y Transporte Supervisado.
- 2.-Análisis y Tratamiento.
- 3.-Disposición Final.
- 4.-Emisión de Reporte de Manejo y Disposición Final.

Recojo, Transporte y Descarga

Comprende:

1. La coordinación previa del recojo del (los) Residuo (s) con el Generador.

Involucra:

- Comunicación del personal HSE de la empresa que brinda el servicio con el representante de la empresa portadora del residuo.
- Establecimiento de la fecha, hora y lugar de recojo.
- Confirmación de los volúmenes y/o pesos a transportar.
- Gestión del personal, materiales, contenedores y equipos requeridos para la carga y estiba segura en la unidad de transporte.
- Información de los datos generales del transportista y de la unidad de transporte.

2. Recojo a través de Camiones baranda (aceite en cilindros) y/o Cisternas (aceite a granel) para el transporte de Residuos Líquidos peligrosos (Aceites Usados), adecuados y en perfecto estado de conservación y de funcionamiento, correctamente rotulados para el Transporte de Carga General, con una antigüedad no mayor de 10

años, dotados con Kits Antiderrame de Nivel y con Choferes Capacitados y Entrenados.

Involucra :

- Verificación de la existencia de condiciones seguras en la zona de carga.
- Verificación y registro de los volúmenes y/o pesos recibidos
- Carga y estiba segura.
- Llenado y firma de la correspondiente Cadena de Custodia.
- Llenado y firma del manifiesto de carga.
- Recepción y firma de la correspondiente guía de remisión.
- Toma de evidencias fotográficas.

3. Transporte Supervisado hasta la planta de Tratamiento, a ser efectuado por personal técnico de Seguridad, higiene y medio ambiente (HSE), con un plan de ruta establecido, dotado de equipos y materiales contra derrames y otros, cubierto con las respectivas Polizas de seguros.

Involucra :

- Gestión y Obtención de los permisos de transporte de residuos.
- Plan de Ruta
- Coordinación del plan de ruta con las autoridades correspondientes (municipios, policía nacional, defensa civil y bomberos).
- Disponibilidad de un plan de contingencias.
- Supervisión de horarios, velocidad de desplazamiento y estado de la carga residual.
- Registro de la hoja de control de ruta.
- Toma de evidencias fotográficas.

4. Descarga segura en la zona de acopio o almacenamiento de los Residuos en la planta de tratamiento.

Comprende :

- Verificación de la existencia de condiciones seguras en la zona de descarga.
- Constatación y registro del estado en el que es descargado el Aceite Usado.
- Verificación y registro de los volúmenes descargados.
- Llenado y firma de la correspondiente Cadena de Custodia.
- Recepción y firma de la correspondiente guía de remisión.
- Toma de evidencias fotográficas.

ANÁLISIS Y TRATAMIENTO PREVIO EN PLANTA

El tratamiento previo a su disposición final, implica separar contaminantes líquidos y sólidos en dilución y/o suspensión, para la Disposición Final adecuada, de los aceites usados. Asimismo, determinar si el aceite usado constituye un aceite usado fuera de especificación, es decir si es que contiene más de 5% en residuos sólidos y/o 13% en contenido de otros residuos líquidos como agua, anticongelantes, solventes, y/o otros. Ambos, es decir el aceite usado y el aceite usado fuera de especificación pueden ser tratados en planta y disponerse finalmente bajo el método de incineración. En el caso de tratarse de aceites dieléctricos, estos se recibirán con un análisis de laboratorio certificado previo a fin de conocer su contenido de PCB's. Si estos contienen más de 50 ppm, en PCB's, se considerará un aceite dieléctrico no apto para su incineración, debiendo confinarse en celdas de concreto de un relleno de seguridad. En el caso de contener menos de 50 ppm en PCB's, se continuará con el proceso de tratamiento.

Estos efluentes son tratados mediante neutralización química a fin de llegar a límites permisibles que posibiliten su posterior vertimiento a la Red Pública de Desagüe (Pozas de Oxidación), cumpliendo con ello las disposiciones establecidas en el Reglamento de la Ley General de Aguas que permiten el vertido siempre que se cumpla con lo dispuesto en lo que se refiere a límites de pH y concentraciones de aceites y grasas.

Procedimiento

- Realizar análisis previo de Laboratorio, para determinar posible presencia y niveles de metales pesados, para determinar el tratamiento posterior a aplicar.

Medición de poder calorífico y metales pesados presentes en los aceites.

También se realiza un análisis a las cenizas de incineración, a fin de medir la eficiencia alcanzada y niveles de metales pesados existentes.

- Cribado en Poza de Recepción.
- Decantación en Tanques Verticales de almacenamiento.
- Purgado de Contaminantes Líquidos y Sólidos.
- Separación de los efluentes y/o Aguas Residuales de los aceites Usados.
- Tratamiento de los efluentes y/o de aguas residuales contaminadas mediante su neutralización química a fin de llegar a límites permisibles que posibiliten su posterior vertimiento a la red pública de desagüe (pozas de oxidación).

DISPOSICIÓN FINAL

1. Incineración Controlada :

Método de Disposición Final de los Residuos, mediante Incineración en forma controlada en Hornos con Doble Cámara de Combustión y Sistema de Lavado de Humos, a más de 1 200°C de temperatura constante.

2. Vertimiento Controlado de Efluentes y/o Aguas Residuales tratadas, en la red pública de desagüe cuando hayan alcanzado los límites permisibles para su vertimiento de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Aguas y norma Internacionales emitidas por organismos internacionales.

3. Confinación en Relleno Sanitario Autorizado:

Método de Disposición Final de los Residuos Tratados, mediante su confinamiento en envase apropiado, traslado y dispuesto en Relleno Sanitario Autorizado, en zona de Desechos Comunes o Industriales. En esta última zona se efectúa en dos formas:

- a) Con Barrera artificial (Geomembrana)
- b) Celda de Concreto (Método denominado: “Encapsulamiento”).

DISPOSICIÓN FINAL DE SUB – PRODUCTOS

Estos lo constituyen restos de contaminantes sólidos , líquidos, lodos y borras.

El proceso implica :

- Incineración controlada en Hornos de más de 1 200°C con doble Cámara de Combustión de temperatura constante y Sistema de Lavado de Humos.

EMISIÓN DE REPORTE DE MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL

Reporte de Manejo y Disposición Final

Comprende el proceso de Gestión y Manejo Ambiental realizado con los Residuos de La Empresa y que le permitirá a esta última, contar con la Certificación y Constancia de Disposición Final correspondiente de los mismos, para ser presentada ante las autoridades que lo requieran y/o para sus procesos de auditoría y gestión ambiental y de calificación a ISO 14000.

Cadena de Custodia

Formato de registro secuencial, cronológico y de firmas, de la ejecución de las etapas seguidas con el residuo hasta su Disposición Final y que permiten visualizar la clasificación, el tipo y la peligrosidad del mismo, así como a los responsables en cada una de las etapas seguidas.

Constancia de Disposición Final

Documento de carácter administrativo y de validez legal, y que certifica la Gestión y Manejo dado al Residuo recibido por encargo.

Evidencia Fotográfica

Toma digital y/o fotográfica, que permite visualizar y servir de sustento gráfico de la forma como han sido ejecutadas las etapas de la Gestión y Manejo de Residuos.

Comprende:

1. Emisión del Reporte de Manejo y Disposición Final de los Residuos de la empresa, que incluye Cuadro Resumen, Cadenas de Custodia, Constancias de Disposición Final y Evidencias Fotográficas.
2. Entrega del Reporte emitido al representante de la Empresa.

IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Conforme con las tendencias mundiales y el señalamiento de convenios internacionales, es preciso minimizar al máximo la generación de residuos peligrosos ya sea mediante la reducción de sus características peligrosas o evitando su producción.
- 2.- Para ello se requiere del diseño de políticas y estrategias que definan acciones para sustituir procesos de producción contaminantes por procesos limpios, para generar la capacidad técnica para el manejo y tratamiento de residuos peligrosos, para permitir la transferencia e innovación tecnológica y para considerar primordialmente los aceites usados como potenciales sustitutos energéticos.
- 3.- El aprovechamiento como un combustible líquido secundario bajo el estricto cumplimiento de ciertos requisitos y condiciones se logra mediante dos acciones principales
- 4.- El establecimiento de plantas para el tratamiento de los aceites usados, de modo tal que cumplan con las características de calidad establecidas en la norma.
- 5.- La modificación de las normas actualmente vigentes, asimilándolas a aquellas de aceptación general, con lo cual se abre el camino a una utilización plena del aceite usado, en forma ambientalmente aceptable
- 6.- El desarrollo de un marco regulatorio ambiental y energético que permita el cambio en la óptica de la naturaleza del aceite usado: de residuo tóxico de carácter especial a un sustituto energético, especialmente combustible líquido secundario.
- 7.- Dicho marco debe ser formulado en conjunto por las autoridades ambientales y energéticas, considerando alternativas de aprovechamiento coherentes con los desarrollos tecnológicos de la sociedad y desde sus respectivos ámbitos, reglamenten los usos de los aceites usados y por consiguiente, complementen, actualicen desarrollen y modifiquen las regulaciones existentes hasta la fecha.

8. El articulado debe precisar la exclusión de aceites usados tratados en la formulación de lubricantes y temple de metales
9. Determina las opciones únicas en las que es viable utilizar aceite usado sin tratar.
- 10.- Admitir la homologación de los nuevos combustibles, estableciendo los criterios de su calidad técnica y los de calidad ambiental de los mismos respectivamente.
- 11.- Establecer además, las obligaciones, preceptos de aceptación y control que deben cumplir cada uno de los diferentes actores de la cadena de gestión del aceite usado.
12. Instituir un comité coordinador conformado por el sector público y privado que permita atender las necesidades comunes para facilitar el desarrollo e implementación del adecuado tratamiento de los aceites usados en Colombia.
13. El aprovechamiento de aceites usados como energéticos, muestra grandes bondades para el sector privado así como para el país, dados los bajos periodos de recuperación de la inversión y resultados positivos del análisis de rentabilidad
- 14.- El consumo excesivo de lubricantes usados es un indicativo de la ineficiencia de las Plantas de Proceso Continuo.
15. Es muy económico y sustentable reducir la generación de aceites usados (*residuos peligrosos*) que darles tratamientos posteriores o confinarlos.
16. Un Programa de Alta Dirección en Lubricación Integral, reduce la emisión de aceites usados (*residuos peligrosos*) por contaminación.
17. Un PADELI aplica tecnologías ecoeficientes probadas que mantienen los aceites limpios (tecnologías de lubricación y purificación).
18. Dejar de cambiar aceites es un gran cambio y un buen negocio en plantas de proceso continuo.

19. Las aguas y suelos contaminadas con lubricantes usados son un pasivo ecológico que se sigue heredando a las futuras generaciones.
20. De acuerdo con los principios que inspiran la normativa ambiental en general, la regeneración de aceites, es decir, su reciclaje para obtener los aceites base originales, constituye la primera opción de gestión de los mismos.

V. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Rivero, O., Garfias, M., y González, S. 1996. Residuos Peligrosos. PUMA. UNAM. México.
- 2) SEMARNAP-INE. 1996. Programa para la Minimización y Manejo Integral de los Residuos Industriales Peligrosos en México. 1996-2000. INE. SEMARNAP. México.
- 3) SEMARNAP-INE. 1997. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. INE. SEMARNAP. México.
- 4) Wentz, Ch. 1989. Hazardous Waste Management. McGraw-Hill International Editions. Singapore. 5) Gestión de Residuos Peligrosos en México. SICELUB, S.A. de C.V. México.
- 6) Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil y Centro Nacional de Prevención de Desastres. 1995. Residuos Peligrosos. Fascículo No.9. México.
- 7) GONZÁLEZ B. MIGUEL, El Paquete de Proyectos Ecológicos y la Lubricación por Neblina de Aceite. Estudio preparado para PEMEX. SICELUB-México, 1991.
- 8) Craig R. Mesler et al., The ISO 14000 Miniguide, Quality Resources, New York, 1998.
- 9) Johnson L. Perry, ISO 14000; the business manager's complete guide to environmental management, John Wiley & Sons, Inc., 1997. Sistemas Centrales de Lubricación, S.A. de C.V. Coscomate 119 Col. Jardines del Bosque de Tetlameya, Tlálpan, C.P. 14050 México D.F.

REFERENCIAS

- 1) APME, Information system on plastic waste management in Western Europe. *Europe Overview. 1995 Data*, Feb. 1997.

- 2) G. Audisio, F. Bertini, PL. Beltrame y P Carniti, *Makromol. Chem., Macromol. Symp.*, 57 (1992) 191.
- 3) R. Lin y R.L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, 58 (1995) 1151.
- 4) J. Aguado, J.L. Sotelo, D.P. Serrano, J.A. Calles, y J.M. Escola, *Energy Fuels*, 11 (1997) 1225.
- 5) A.R. Songip, T. Masuda, H. Kuwuhara y K. Hashimoto, *Appl. Catal. B: Environ.*, 2 (1993) 153.
- 6) W. Ding, J. Liang y L.L. Anderson, *Energy Fuels*, 11 (1997) 849.
- 7) D.P. Serrano, J. Aguado, J.L. Sotelo, R. Van Grieken, J.M. Escola y J.M. Menéndez, *Stud. Surf. Sci. Catal.* (en prensa).