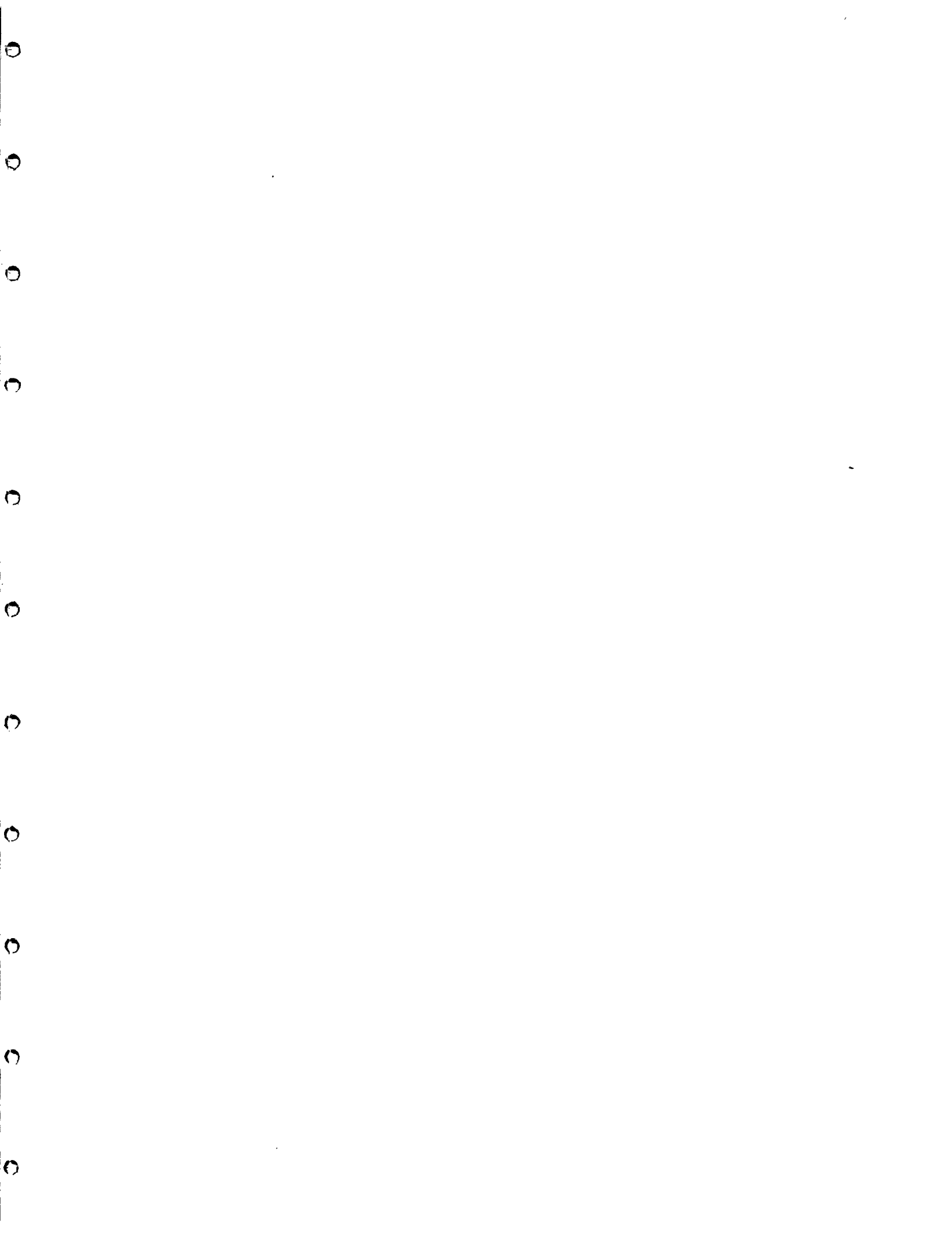


**TRANSFORMACION DE LOS ACEITES
USADOS PARA SU UTILIZACION COMO
ENERGETICOS EN PROCESOS DE
COMBUSTION**



BOGOTA D.C., Octubre de 2001

***La transformación de residuos
tóxicos una alternativa
energética secundaria***



RESUMEN EJECUTIVO

TRANSFORMACION DE LOS ACEITES USADOS PARA SU UTILIZACION COMO ENERGETICOS EN PROCESOS DE COMBUSTION

1.0 ANTECEDENTES

Todo residuo o desecho que pueda causar daño a la salud o al medio ambiente es considerado como un residuo peligroso; fundamento por el cual los gobiernos tienen la responsabilidad de promover la adopción de medidas para reducir al máximo la generación de estos desechos, así como establecer políticas y estrategias para que su manejo y eliminación se ejecuten sin menoscabo del medio ambiente y se reduzcan sus propiedades nocivas mediante técnicas apropiadas.

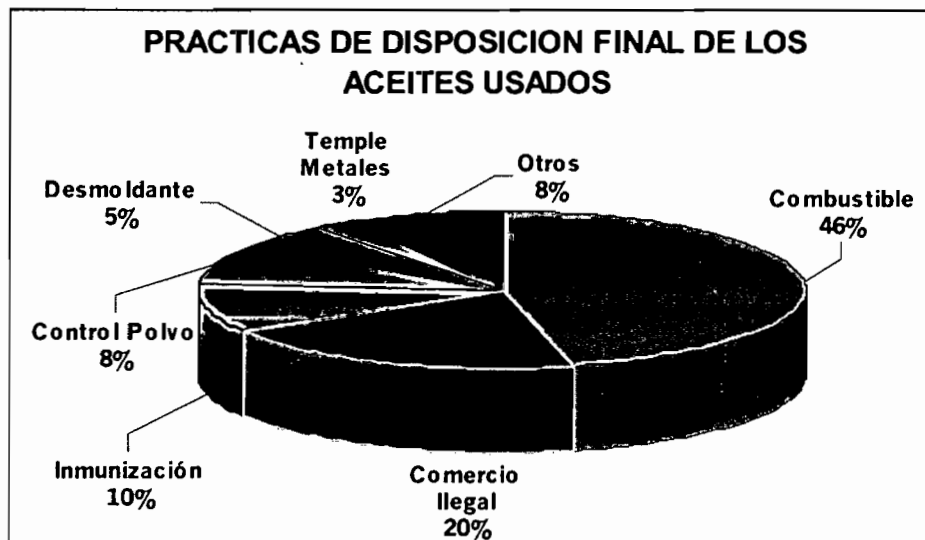
Tal es el caso de materiales sintéticos, gomas, neumáticos, residuos de madera, aceites de motor usados, residuos petroquímicos y fangos asfálticos, entre otros, porqué su composición química están generando cada vez mayores peligros para los seres vivos. Al unísono, en el mundo han hecho su aparición en los últimos años, nuevos procesos y tecnologías que permiten la reutilización o reciclaje de residuos o desechos peligrosos, transformándolos en sustancias susceptibles de ser utilizadas o aprovechadas ya sea como materia prima o como energéticos.

2.0 PROBLEMÁTICA COLOMBIANA

En el país se generaran anualmente grandes volúmenes de aceites usado, provenientes del consumo de lubricantes por el sector automotor, de aceites de proceso y 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, por la pequeña y mediana industria colombiana.

Gráfica 1.



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 búsqueda de soluciones que permitan un manejo adecuado de estos compuestos, minimizando al máximo su impacto ambiental y aprovechando paralelamente sus características combustibles.

En Colombia cada año se generan cerca de 1,2 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, pequeños chircales, textileras, siderúrgicas pequeñas, fábricas de confecciones, etc. y en el sector de servicios especialmente en las lavanderías.

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.

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.

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 actores para su recuperación, acopio y tratamiento.

3.0 CARACTERISTICAS 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 Lahcorp¹, así como por Lupien Rosenberg et Associates, demuestran que los aceites usados presentan como características típicas, las señaladas en la tabla 1.

CARACTERISTICAS DE LOS ACEITES USADOS EN COLOMBIA

CARACTERISTICAS	AUTOMOTOR	INDUSTRIAL
Viscosidad a 40°C, SSU	97-120	143-330
Gravedad 15.6°C, °API	19-22	25.7-26.2
Peso Especifico a 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, % vol.	2.0-9.7	0.0
Punto de ignición, °C	78-220	157-179
Poder Calorífico, MJ/kg	31.560-44.880	40.120-41840

¹ Compañía que se encuentra en proceso de montaje de una planta de tratamiento de aceites usados

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.

4.0 ESTADO DE LA INDUSTRIA COLOMBIANA

La industria colombiana 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.

Teniendo en cuenta esta consideración, se evaluó el estado de la pequeña y mediana industria de las 4 principales ciudades del país en lo que hace referencia a procesos de combustión, visitándose 295 empresas.

En estas encuestas se determinó el grado de aceptación del segmento hacia un combustible formulado con base en la utilización de aceites usados, tipo de energéticos empleados, y la distribución de los equipos que utiliza esta industria.

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. 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 tanto para la industria por menor valor de la factura energética, como para el país, que puede disponer así, de un volumen de combustóleo excedente para exportación.

La tabla 2. señala que es posible ahorrar a la industria cerca de \$4,441 millones de pesos por año, representados en un menor valor pagado por el combustible. A su vez esto reemplaza un volumen de 201 BPD de energéticos tradicionales, que valorados como combustóleo 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 energéticas 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.

Tabla 2.
CONSUMO INDUSTRIAL DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS

COMBUSTIBLE	BPD	Mgal/Año	Precio \$/gal	Costo M\$/año
ACPM	2,100 ⁽¹⁾	32.2	1,986 ⁽²⁾	63,949
Combustóleo	14,000	214.62	1,400 ⁽³⁾	300,468
Crudos ⁽⁴⁾	4,000	31.3	1,300 ⁽⁵⁾	79,716
Totales	20,100	308.12		444,133

(1): Estimado 3.5% del consumo nacional de ACPM, información suministrada por Ecopetrol

(2): Precio a distribuidor mayorista sin sobretasa, Resolución 8 0941 de abril 27/01

(3): Precio en refinería mas el margen de comercialización y costo de transporte, informe ECP mayo/2001

(4): crudos intermedios y pesados, con °API entre 12-31°API

(5): Valor promedio en Bogotá de crudos, Rubiales, Toqui toqui y Mateguafe,

5.0 UTILIZACIÓN 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.

Tabla 3.
DISTRIBUCION DEL MERCADO

ZONA	UBICACIÓN	M Gal ⁽¹⁾	No. PLANTAS	CUBRIMIENTO
CENTRO	Bogotá	6.0	2	83.3 %
NORTE	Barranquilla	2.65	1	94.3 %
SUR	Cali	2.93	1	85.3 %
OCCIDENTE	Medellín	3.18	1	78.7 %
TOTAL		14.76		84.7 %

(1): Volumen de aceite usado generado en la zona

La tabla 3. estima los volúmenes de aceites usados generados 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 3.

6.0 PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGETICO

A la luz del estudio efectuado, se esboza a continuación una propuesta de actualización tecnológica para el sector industrial, que considera la adecuación del aceite usado previamente a su utilización como componente en mezcla con otros combustibles para consumo industrial.

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 interinstitucional que se encargue de atender el desarrollo del proyecto aquí propuesto.

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 y b) remoción de partículas finas, mediante procesos de sedimentación y centrifugación.

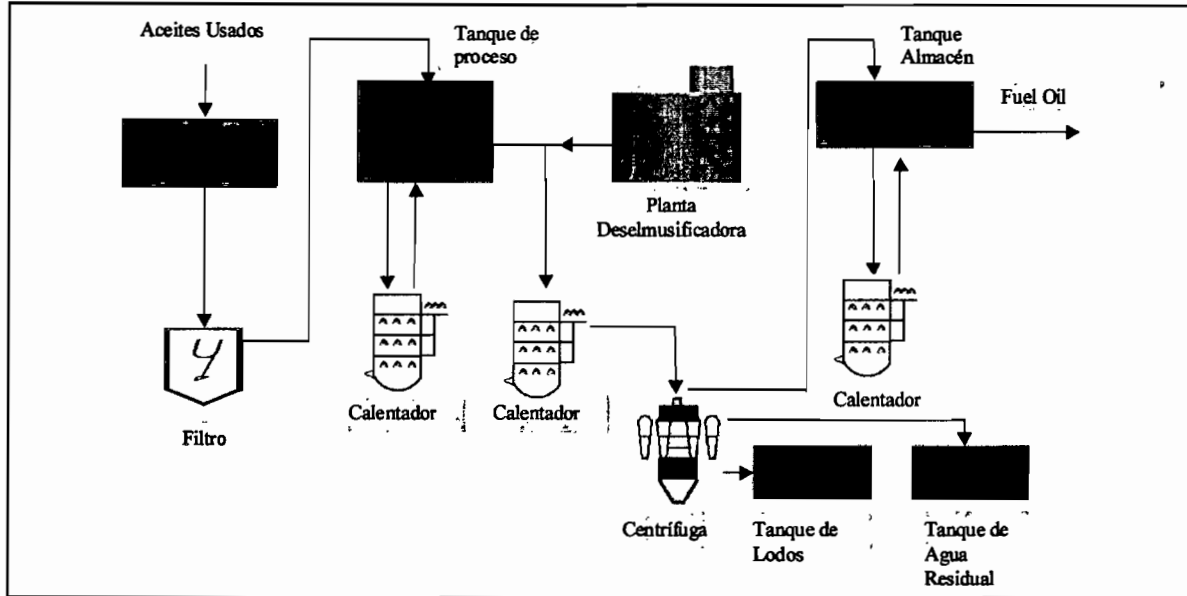
Estas etapas involucran la adición de desmulsificantes, para el rompimiento de las emulsiones formadas con el agua. Una vez recuperadas las características del aceite, con el fin de lograr un combustible limpio de contaminantes, podrá utilizarse como energético en mezclas simples, de acuerdo con proporciones establecidas, tal y como se aprecia en la figura 2.

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 y relleno en las vías durante la elaboración de 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.

**Gráfica 2.
SISTEMA DE RECUPERACION DE ACEITES**



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 3.

**Tabla 3.
CONTAMINANTES**

TRATAMIENTO DE SEPARACION		
CONTAMINANTES	ANTES	DESPUÉS
Cloro, %w	0.17-0.47	0
S, , %w	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

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 ACPM y el combustóleo, cumpliendo igualmente con las especificaciones establecidas por la ASTM 396 (Stándar for Testing Methods),

Este manual 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 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 (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.

Tabla 4.
OPCIONES DE MEZCLAS ENERGETICAS POSIBLES

MEZCLAS POSIBLES	PROPORCIONES (%Volumen)			VISCOSIDAD RESULTANTE	
	A. Usado	ACPM	Combustóleo	SSU a 38°C	SSF a 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	
Fuel Oil No 4	88		12	125	
Fuel Oil No 5 Light	66		33		123
Fuel Oil No 5 Heavy	37		63		40

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 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, tipo queroseno.

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

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 con las siguientes características: escenario 1 contó con la adquisición, operación y mantenimiento de 4 vehículos destinados exclusivamente a la recolección (compra) del aceite usado en los sitios de almacenamiento (estaciones de servicio, cambiaderos e industrias), y por lo tanto un precio bajo de compra del aceite usado.

El segundo escenario contempló un mayor valor de compra del aceite usado, bajo la consideración que el punto de compra es puerta de planta, y por tanto no se incluye inversión en la adquisición de equipos de transporte para la recolección del aceite usado.

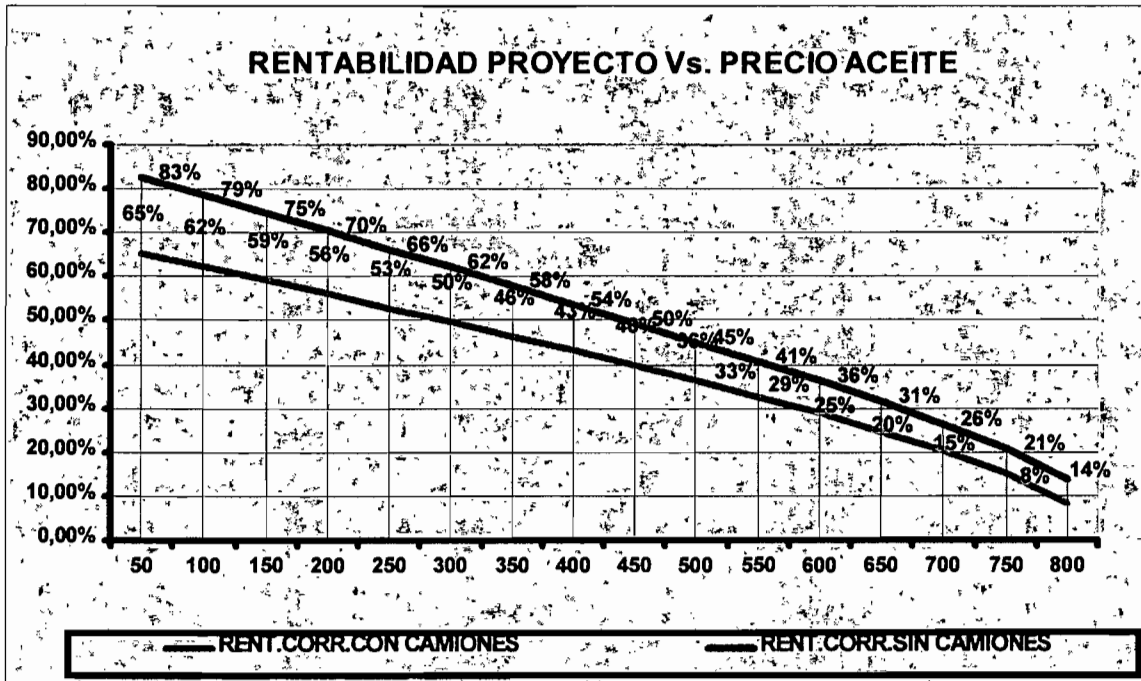
Realizados los cálculos, se estima que en cinco (5) años se logra alcanzar un flujo de caja acumulado con valores positivos, para el primer caso. El escenario para el cual se evaluó la posibilidad de comprar el aceite usado en puerta de planta, el tiempo estimado para el cual los flujos de caja acumulados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

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.

Un análisis de sensibilidad muestra el impacto financiero del proyecto causado por la modificación 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.

Gráfica 3.



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 6.

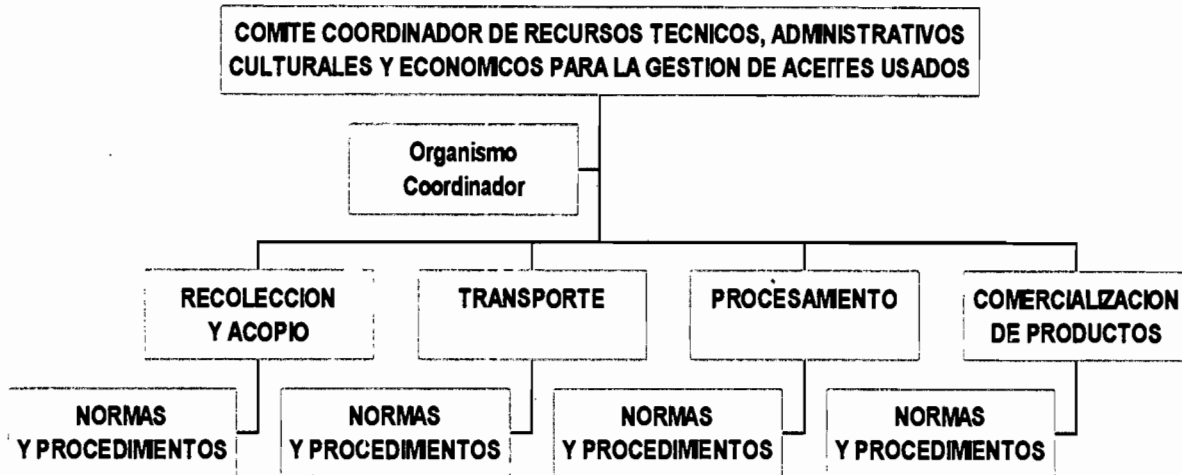
Tabla 6.
INDICADORES FINANCIEROS

INDICADORES		ESCENARIO I	ESCENARIO II
VALOR PRESENTE NETO	M \$	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
INVERSIÓN INICIAL	M \$	1,447.31	1,051.31

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 diagrama.

ESQUEMA DE GESTION



7.0 CONCLUSIONES

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.

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.

El aprovechamiento como un combustible líquido secundario bajo el estricto cumplimiento de ciertos requisitos y condiciones se logra mediante dos acciones principales

- ⇒ 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.

⇒ 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.

Lo anterior sugiere

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.

1. 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.
2. El articulado debe precisar la exclusión de aceites usados tratados en la formulación de lubricantes y temple de metales.
3. Determina las opciones únicas en las que es viable utilizar aceite usado sin tratar.
4. Admitir la homologación de los nuevos combustibles, estableciendo los criterios de su calidad técnica y los de calidad ambiental de los mismos respectivamente.
5. 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.
6. 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.
7. 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.