

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

BIOCOMBUSTIBLES Y ENERGÍAS BOISEP

CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN LOS ACEITES USADOS ANTES Y DESPUÉS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN PARA LAS EMPRESAS ECOLCIN Y PROPTELMA S.A.

Emilio Delgado Tobón¹
Weimar Omar Ferney Jiménez Peña, Jairo Luís Durango Padilla²

RESUMEN

Debido a la necesidad de recuperar aceites lubricantes usados (automotores e industriales) es de vital importancia tener en cuenta la cuantificación de los contaminantes presentes en los aceites usados no tratados y tratados, para evidenciar si los procesos de recuperación o tratamiento al cual son sometidos están siendo bien ejecutados, al saber que esto se hace para disminuir elementos contaminantes, para posteriormente volverlos a utilizar como combustibles alternativos. La absorción atómica es una técnica química instrumental que se utiliza para análisis de laboratorio en la cuantificación de elementos contaminantes y en este caso se utilizó el espectrofotómetro de la Universidad Libre para cuantificar los elementos contaminantes presentes en aceites usados antes y después del proceso de tratamiento para las empresas Ecolcin y Proptelma.

PALABRAS CLAVE

Aceite usado, Espectrofotómetro, Contaminantes, Absorción atómica.

ABSTRACT

Because of the need to recover oils used automotive and industrial lubricants, is of vital importance to take into account the initial concentration of contaminants in oils untreated and treated, to reveal whether the processes of recovery or treatment they are subjected, is being well executed, knowing that this is done to reduce contaminants, and then re-used as alternative fuels. The atomic absorption instrumental chemistry is a technique that is used for laboratory analysis in the quantification of contaminants and in this case was used spectrophotometer of the Libre University to quantify contaminants present in oils before and after the treatment process for companies Ecolcin and Proptelma.

KEY WORDS

Oils used, spectrophotometer, contaminants, atomic absorption.

Fecha de recepción del artículo: 17 de julio 2008.
Fecha de aceptación del artículo: 22 de agosto de 2008.

¹ Ingeniero Mecánico, Magister en Ingeniería Mecánica. Docente Investigador - Universidad Libre.

¹ Auxiliares de Investigación, estudiantes de Ingeniería Mecánica, Universidad Libre - Bogotá, D.C.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación, cuenta de una manera muy detallada los criterios y procedimientos físico químicos para la cuantificación de elementos contaminantes en aceites lubricantes usados por medio de espectrofotometría de absorción atómica con el equipo de la Universidad Libre, siendo éste un proyecto de análisis instrumental analítico; en donde se tuvo en cuenta el manual o libro de métodos del equipo, para el manejo del equipo de absorción atómica, la preparación de muestras y patrón de cada uno de los elementos analizados, de acuerdo a las condiciones y requerimientos que cada uno de estos elementos tiene para su cuantificación en aceites lubricantes usados, determinando la disminución de los contaminantes, después del proceso de tratamiento y recuperación, al cual son sometidos para posteriormente reutilizarlos como combustibles alternativos.

1. TIPOS DE MUESTRAS A ANALIZAR

Las muestras que se analizan fueron suministradas por las empresas recuperadoras de aceite Ecolcin y Proptelma, con el fin obtener datos de diferentes procesos o tratamientos y de igual manera tener información para comparar y analizar los datos obtenidos y saber en las condiciones en que se encuentran las muestras de aceite lubricante usado antes y después del proceso de tratamiento de recuperación.

2. PROTOCOLO PARA LA TOMA DE MUESTRAS

En el desarrollo del protocolo para toma de muestras es necesario implementar un diseño muestral que permita inferir sobre los resultados en la reducción de los principales contaminantes que se encuentran en el aceite lubricante usado, una vez éste es tratado por cada uno de los dos procesos utilizados en cada una de las empresas recuperadoras (Ecolcin y Proptelma). Para esto es necesario establecer un marco de población o período de estudio del cual se puede inferir de los resultados mencionados anteriormente para ambos procesos. El período de estudio considerado es de 31 días.

El diseño muestral seleccionado fue: Estratificado -muestreo aleatorio simple (EST-MAS), ya que requiere

una disponibilidad de tiempo corto, se reducen los costos operativos, y sólo es necesario tomar muestras de un solo lote procesado, sin importar que se hallan procesado diferentes lotes en los días aleatorios seleccionados.

Para elegir el tamaño de muestra fue necesario utilizar herramientas estadísticas que relacionan el porcentaje de coeficiente de variación (margen de error estimado) versus el período de estudio o marco de población, el cual aumenta o disminuye el tamaño de las muestras a analizar en la medida en que se toma un período en número de días mayor.

Figura 1. Coeficiente de variación (C.V) vs. marco poblacional (N).



Fuente: Autores del proyecto.

El tamaño de muestras elegido (n) fue de 3 debido a que este valor mantiene un margen de error estimado de 5.9 % el cual se considera que tiene un nivel aceptable en el desarrollo de la investigación ya que implica tomar una muestra por cada día seleccionado (N= número total de días o período poblacional tomado en el diseño muestral) antes y después del proceso de tratamiento en cada empresa (Ecolcin y Proptelma).

3. PROPIEDADES FÍSICAS ANALIZADAS PARA CADA UNA DE LAS MUESTRAS

Es de vital importancia tener información característica de las muestras que se van a analizar, para tener una referencia de las condiciones en que se encuentra el aceite lubricante usado antes y después del proceso de tratamiento.

Las propiedades físicas analizadas en el laboratorio para cada una de las empresas fueron: el punto de ebullición,

punto de inflamación o llama, viscosidad y densidad siendo esta última de gran utilidad para la conversión de unidades a partes por millón (PPM = mg/kg) que es la unidad que se maneja en soluciones aceitosas.

4. PROTOCOLO PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS

De acuerdo con las guías del libro de métodos del equipo, seleccionamos la que dió resultados óptimos la cual describe una dilución con solventes que pueden ser xileno o MIBK (Metil Iso Butil Cetona). Se debe llevar a cabo de la siguiente manera: remover una alícuota de muestra problema con relación de 1:10 es decir una parte de muestra problema y llevarla a un volumen de aforo de 10 partes con el solvente diluyente y agitar mecánicamente por 5 minutos; esta relación puede variar de acuerdo a la concentración óptima para cada elemento a analizar.

Para cada muestra de aceite tratado y no tratado de cada una de las empresas Ecolcin y Proptelma, se vertió un volumen de 150 ml en los vasos precipitados y se tomó con la pipeta una alícuota de 10 ml llevándose ésta a aforo a 100 ml en los balones aforados con el solvente xileno, se obtuvo una relación de dilución de 1:10 como lo especifica la primera guía.

La dilución de las muestras de aceite se hará en una relación de 10 ml de aceite llevándolas aforo a 100 ml y mantener la relación que se maneja en el libro de métodos del equipo.

Estas diluciones se hacen con el objeto de tener una buena cantidad de muestra diluida para el análisis de las mismas, porque es un buen estudio químico analítico, las muestras para la cuantificación de los 7 elementos contaminantes en los aceites usados antes y después de ser tratados para cada una de las empresas y procesos, la dilución debe ser homogénea, y con la misma cantidad para cada proceso, con el fin de obtener resultados confiables en cada una de las muestras.

5. PROTOCOLO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN ACEITES USADOS

En el análisis de contaminantes en aceites usados por medio de espectrofotometría de absorción atómica se

puede identificar gran parte de los elementos de la tabla periódica como lo son: Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Ti, V, Zn, entre otros.

La selección de los elementos depende de las necesidades del estudio, análisis o investigación.

Por eso los elementos contaminantes más importantes y usados en los aceites lubricantes son: Al, Fe, Cu, Cr, Pb, Si, Zn, los cuales serán descritos por sus posibles fuentes de desgaste:

Silicio: Polvo, materiales de sellado y arena de la fundición.

Aluminio: Desgaste del pistón o cojinete, bombas del sistema hidráulico, componentes de la transmisión.

Plomo: Desgaste del cojinete, contaminación por combustible, rodamientos.

Hierro: Desgaste del engranaje, eje o recubrimiento del cojinete, guías de las válvulas.

Cobre: Desgaste en la tracción del cojinete, "lixiviación" del sistema de enfriamiento del aceite, desgaste de la transmisión o disco del volante.

Cromo: Pistones y anillos de pistones, rodillos del cojinete en los compartimentos de engranaje, desgaste del vástago de la válvula.

Zinc: Aditivos.

6. SELECCIÓN DEL PATRÓN DE CALIBRACIÓN

Para la cuantificación de elementos contaminantes en aceites lubricantes por medio de espectrofotometría de absorción atómica, es necesario el uso de un patrón de calibración con el fin de tener concentraciones conocidas del metal o elemento a analizar en la muestra de aceite a preparar.

Se deben utilizar patrones que oscilen dentro de la concentración de muestra esperada y que estén dentro del intervalo de trabajo del método.

En el análisis de aceites por medios de absorción atómica se pueden utilizar diferentes tipos de patrones de calibración.

6.1. Patrón estandarizado para aceites lubricantes

Este tipo de patrón es suministrado por laboratorios internacionales certificados, reconocidos mundialmente en la fabricación de patrones multielementos con bases de aceites estandarizados para análisis con equipos de absorción atómica.

6.2. Patrón obtenido por procedimiento de recuperado

El recuperado es un procedimiento químico analítico donde se debe buscar una matriz blanco que no tenga los analitos (elementos a analizar), esta matriz puede ser un aceite nuevo o aditivo base de aceite lubricante y debe asegurarse que no hayan metales, o que los rangos de los metales estén próximos a cero para así agregar a la matriz blanco una cantidad de metal que se calcula con los rangos de la curva de calibración para cada elemento a analizar.

6.3. Patrón con soluciones acuosas y ácidas

Proceso químico analítico donde se utilizan blancos de agua desionizada, destilada o ácidos que no contengan partículas de metales o se aproximen a cero y se agregan soluciones con concentraciones conocidas, las cuales se encuentran preparadas individualmente para cada uno de los elementos a analizar.

El tipo de patrón seleccionado para la cuantificación de los principales contaminantes en aceites lubricantes usados por medio de espectrofotometría de absorción atómica fue el estándar internacional marca Conostan S – 21 que posee una concentración de 500 PPM calibrado para los siguientes elementos: Ag, Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sn, Ti, V, Zn y B.

7. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO PARA LA PREPARACIÓN DE PATRONES DE CALIBRACIÓN

En la preparación de patrones de calibración existen varios métodos o formas para desarrollarlo, en este

caso se habla de la curva de calibración que se puede hacer con 1 o más puntos de calibración.

Con un solo punto de calibración se debe observar la concentración característica de chequeo en el libro de métodos para cada elemento y se hace la dilución del patrón respecto a las condiciones del elemento a analizar, para posteriormente estudiarlos con las muestras de aceite lubricante previamente preparadas, en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Si fuera para una curva de calibración con 3 puntos se toman los valores de mínimos y máximos de la concentración característica de chequeo para cada elemento a analizar y se busca un valor intermedio entre ellos, para posteriormente prepararlos.

Debido a las limitaciones en cuanto a la cantidad de patrón estandarizado Conostan S – 21 calibrado con una concentración multielemento de 500 PPM, se decidió usar el método de calibración con un sólo punto para todos los elementos y muestras de aceite lubricante usado tratado y no tratado.

8. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL MÉTODO PARA LA PREPARACIÓN DE PATRONES DE CALIBRACIÓN

En el desarrollo de cualquiera de los métodos, es necesario realizar diluciones del patrón estandarizado; para este método se hicieron diluciones del patrón para cada elemento a analizar con referencia a la concentración característica de chequeo, la cual a su vez equivale a la longitud de onda óptima que es la primera que aparece en las tablas de condición estándar para absorción atómica de los diferentes elementos que se encuentran en el libro de métodos para el equipo de absorción atómica de la Universidad Libre como lo indica la Tabla 1.

La preparación del patrón de calibración se hizo de la siguiente manera:

Se sometió el patrón de calibración a un baño con agua caliente para facilitar la fluidez al ser extraído con las pipetas, posteriormente se tomó el volumen calculado de patrón para cada elemento a analizar con las pipetas; luego se depositó el patrón en los balones aforados, en ocasiones es necesario usar el solvente

Tabla 1.

Elemento a analizar	Longitud de onda óptima nm	Concentración característica de chequeo mg/l	Tipo de llama
Si	251.6	100.0	N - Ac
Al	309.3	50.0	N - Ac
Pb	283.3	20.0	A - Ac
Fe	248.3	5.0	A - Ac
Cu	324.8	4.0	A - Ac
Cr	357.9	4.0	A - Ac
Zn	213.9	1.0	A - Ac

A-Ac: Aire - Acetileno

N-Ac: Oxido Nitroso – Acetileno

Fuente: Autores del proyecto.

xileno para verter todo el patrón que se queda en las paredes internas de las pipetas de igual manera se llevó la cantidad de patrón vertida a aforo con xileno.

9. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DE LA PRUEBA DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

En el desarrollo de esta etapa fue de gran ayuda la experiencia y asesoría previa brindada en los laboratorios de aguas de la Universidad de Córdoba donde se realizaron pruebas piloto que llevaron a desarrollar recomendaciones para toma de datos, seguridad del equipo e integridad física como también revisión y acondicionamiento del equipo.

Para el desarrollo de esta parte es necesario recordar que se debe tener preparado y verificado principalmente, con anterioridad lo siguiente:

- Muestras diluidas con solvente xileno.
- Patrones estándar de calibración preparados a la concentración característica de chequeo óptima, correspondiente a cada elemento a analizar. Los cuales son siete patrones ya que se analizarán siete elementos y la gran mayoría poseen concentraciones características de chequeo óptimas diferentes.
- Revisión y acondicionamiento del equipo para el análisis.

10. CREACIÓN DEL MÉTODO POR MEDIO DEL SOFTWARE DEL EQUIPO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Para este análisis se crearon dos métodos:

1. Método creado software: cubre los elementos que utilizan llama aire - acetileno (Zn, Pb, Fe, Cu, Pb).
2. Método creado software: cubre los elementos que utilizan llama oxido nitroso - acetileno (Al, Si).

Para la ejecución de ambos métodos y posterior medición es indispensable contar con la colaboración de personas con experiencia en el manejo del equipo, en este caso apoyó el proceso Humberto Torres Llerena, docente de la Universidad Libre. Lo primordial en la creación de cualquiera de los métodos por medio del software es:

- Crear un método por medio del software especificando la utilización de un solo punto de patrón (previamente preparado a la concentración característica de chequeo óptima para cada elemento a analizar) con creación de curva de calibrado que para este caso es una línea recta para cada uno de los elementos.
- Especificar el número de muestras a analizar (según el diseño muestral).
- Además de esto, es necesario definir el número de réplicas; estadísticamente se recomiendan tres, es decir, el equipo mide tres valores de concentración en aproximadamente diez segundos, promedia estos valores y da un solo valor de concentración en mg/lit, (aunque se puede aumentar o disminuir el número de réplicas) para cada elemento analizado en cada una de las muestras a analizar.

El posterior análisis se hace al aspirar cada muestra diluida de aceite lubricante usado por medio del capilar y quemándola para darle, a cada una, la concentración de la muestra, la cual debe ser menor o igual que la concentración característica de chequeo óptima. Este resultado se da justo cuando termina el análisis para cada una de las muestras y se procede a aspirar la segunda muestra diluida aspirando blanco (xileno) al pasar de una muestra a otra, dar la concentración, y así sucesivamente hasta terminar con el número de muestras programadas.

11. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES

La concentración arrojada por el equipo en mg/ lt, se multiplica por el factor de dilución, y se obtiene así la concentración de la muestra problema de aceite (sin diluyente), y ésta a su vez es dividida por la densidad medida en las pruebas físicas, que corresponde a cada muestra para convertir la concentración de mg/lt a PPM (mg/kg) que es la unidad equivalente para aceites.

Las siguientes tablas (2, 3) corresponden a las concentraciones en PPM para las dos empresas y sus respectivas muestras.

Tabla 2. Resultados para Proptelma.

Elemento	Muestra 1 (PPM)		Muestra 2 (PPM)		Muestra 3 (PPM)	
	No tratado	Tratado	No tratado	Tratado	No tratado	Tratado
Zn	15.28	8.13	19.30	11.77	10.29	6.06
Cu	29.77	22.37	34.45	13.25	38.59	28.53
Cr	32.24	12.65	30.97	16.76	33.22	24.83
Fe	37.64	12.20	46.24	30.46	36.12	13.14
Pb	52.13	16.15	48.14	22.87	80.31	45.84
Si	115.16	64.18	131.53	72.59	118.56	71.68
Al	91.34	71.29	82.15	55.37	137.58	83.37

Fuente: Autores.

Tabla 3. Resultados para Ecolcin.

Elemento	Muestra 1 (PPM)		Muestra 2 (PPM)		Muestra 3 (PPM)	
	No tratado	Tratado	No tratado	Tratado	No tratado	Tratado
Zn	11.75	3.63	14.41	4.76	16.75	7.19
Cu	36.27	19.77	38.96	20.99	30.61	15.05
Cr	29.83	16.59	36.14	24.51	37.76	21.12
Fe	43.84	23.63	46.39	25.42	53.96	32.80
Pb	72.65	40.79	90.87	60.95	72.96	43.48
Si	128.47	89.20	111.14	55.27	128.04	72.80
Al	135.02	75.11	100.90	61.63	106.25	66.17

Fuente: Autores.

12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS CON EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LA UNIVERSIDAD LIBRE

Con el fin de dar validez a los datos se hizo un análisis estadístico que tuvo como finalidad evaluar

la confiabilidad y observar la diferencia de resultados obtenidos, para esto se usó un análisis estadístico no paramétrico, el cual es el apropiado ya que el número de datos es relativamente pequeño para utilizar procedimientos paramétricos.

Al desarrollar un análisis estadístico no paramétrico es necesario realizar una prueba de hipótesis para cada empresa. Consiste en definir tanto una hipótesis nula como una alternativa con el fin de contrastarlas para así confirmar estadísticamente la hipótesis alternativa (esperada) planteada.

Para este caso, de acuerdo con la teoría estadística descrita anteriormente la hipótesis nula será: que la mediana del porcentaje de elementos contaminantes en el aceite tratado y el no tratado es la misma versus una hipótesis alternativa que lleva a concluir que la mediana del porcentaje de elementos contaminantes en el aceite no tratado es mayor que en el aceite tratado, es decir:

$$H_0 : \theta_{\text{no tratado}} = \theta_{\text{tratado}}$$

versus

$$H_a : \theta_{\text{no tratado}} > \theta_{\text{tratado}}$$

Mediante la prueba de Wilcoxon que se basa en los rangos de la muestra para muestras pareadas se pretende probar el juego de hipótesis mencionado.

Este análisis estadístico consigue rechazar la hipótesis de que la mediana del porcentaje de elementos contaminantes en el aceite tratado y el no tratado es la misma comprobándose la hipótesis alternativa la cual dice que el porcentaje de elementos contaminantes en el aceite tratado es menor que la del no tratado para las dos empresas, ocurre lo mismo para los porcentajes de remoción (ver tablas 4 y 5).

Se tomó la mediana estimada de cada empresa para determinar con éstas, la mediana estimada para las dos empresas conjuntamente, en cada elemento analizado; obteniendo para la mediana estimada, los límites del intervalo de confianza, calculados estadísticamente con un 95 % de confiabilidad, en las muestras analizadas; estos intervalos dan a conocer los valores mínimos y máximos de las medianas en que se pueden encontrar los elementos analizados para estas muestras (Tabla 6).

Tabla 4. Porcentaje de remoción Proptelma.

Elemento Proptelma	No tratado PPM	Tratado PPM	(%) Remoción
Zn	14,96	8,65	57,86%
Cu	34,27	21,38	62,40%
Cr	32,14	18,08	56,25%
Fe	40,00	18,60	46,50%
Pb	60,19	28,29	46,99%
Si	121,75	69,48	57,07%
Al	102,69	70,01	67,52%

Fuente: Autores.

Tabla 5. Porcentaje de remoción Ecolcin.

Elemento Proptelma	No tratado PPM	Tratado PPM	(%) Remoción
Zn	14,30	5,19	36,31%
Cu	35,28	18,60	52,73%
Cr	34,58	20,74	59,98%
Fe	48,06	27,28	56,77%
Pb	78,83	48,41	61,41%
Si	122,55	72,42	59,10%
Al	114,06	67,64	59,30%

Fuente: Autores.

Tabla 6. Mediana estimada para las dos empresas analizadas conjuntamente.

Elemento	Mediana estimada PPM	Limite inferior (95%)	Limite superior (95%)
Zn	7,83	5,69	9,61
Cu	15,6	8,7	19,6
Cr	13,39	10,01	18,12
Fe	21,07	18	24,12
Pb	30,89	27,38	35,23
Si	51,4	43,1	57,4
Al	40	23,4	57,1

Fuente: Autores.

12.1 Análisis de resultados

Uno de los resultados más importantes para ser analizados son los porcentajes de remoción correspondiente a cada elemento analizado (ver tabla 4 y 5) se pueden encontrar diferencias significativas entre un mismo elemento en las empresas y se podía caer en el error de pensar que algunos elementos se

reducen más en una empresa que en otra, tener en cuenta que el porcentaje de remoción funciona como un indicador de eficiencia de lo removido en el proceso y la diferencia de este porcentaje con el 100% inicial es con lo que queda en contaminantes el aceite tratado, por ende sale al comercio o a su disposición final con este nivel de contaminantes; siendo de esta manera, necesario mirar la diferencia que existe entre el no tratado y tratado, siempre y cuando sea de un mismo elemento para juzgar si uno de los procesos implementados por cada empresa es relativamente más eficiente que el otro.

Por ejemplo, al analizar el % de remoción de plomo(Pb) en cada empresa se encuentra que en ECOLCIN por tener un 61.41% en remoción frente a un 46.99% de PROPTELMA podría pensarse que hubo un nivel de remoción mayor para dicho elemento en ECOLCIN pero si se miran los resultados en diferencia de los promedios de las muestras para este elemento en cada empresa, es fácil darse cuenta que ambas empresas remueven aproximadamente la misma concentración es solo que ECOLCIN aparenta remover más ya que el aceite no tratado que entra posee concentraciones mayores de plomo que PROPTELMA 78.83 y 60.19 ppm respectivamente pero ambas empresas mantienen la misma diferencia en los promedios totales de las muestras 31.16 ppm aproximadamente.

Pero no ocurre lo mismo en el caso del aluminio(Al) donde las diferencias del promedio total de las muestras para el aceite no tratado y tratado para este elemento no son las mismas (46.42ppm para Ecolcin y 33.68ppm para Proptelma) lo que demuestra en este caso que para Ecolcin el rango de reducción es de 12.74 ppm. Por esta razón, es necesario mirar estas diferencias siempre que se quiera tener en cuenta los valores de porcentajes de remoción.

CONCLUSIONES

Se comprobó estadísticamente la reducción en PPM que genera el proceso de tratamiento o recuperación de aceites lubricantes usados para las empresas Ecolcin y Proptelma, y éste fluctúa de acuerdo a las condiciones en que llegan los aceites a las plantas de tratamiento y que de igual forma dicha reducción mantiene una diferencia casi constante notándose un poco más en Ecolcin.

- Según los porcentajes de remoción que evalúan la eficiencia de los procesos de reducción de contaminantes, se concluye que los aceites no tratados se reducen en un rango de porcentaje entre 46.50 y 67.52%. Para Proptelma evidencia un porcentaje aceptable dentro del proceso de tratamiento que esta empresa realiza y para Ecolcin un rango de porcentaje entre 36.31 y 59.98 % evidencia un porcentaje aceptable dentro del proceso de tratamiento.

El criterio que determinó los rangos aceptados a la diferencia entre el porcentaje de remoción y el 100% en contaminantes para cada elemento analizado, fue la cantidad con que salen del proceso para ser reutilizados, aunque se pueden mejorar los procesos para que sean buenos o mejores.

- De acuerdo con el porcentaje de remoción calculado se concluye que los aceites usados tratados salen a ser reutilizados o a una disposición final con un nivel de contaminantes considerable, por lo tanto

se genera un impacto ambiental en la interacción con el medio ambiente y es primordial el diseño e implementación de tratamientos más eficientes que mejoren el porcentaje de remoción por lo menos entre un 80 y 90%, debido a que este combustible alternativo se encuentra catalogado como desecho peligroso.

- Esta investigación además de arrojar resultados para inferir sobre los tratamientos de recuperación adoptados por las dos empresas recuperadoras (Ecolcin y Proptelma) en las muestras analizadas bajo un buen nivel de confiabilidad ya que se usó un patrón estandarizado internacional, también permite usarse como una guía práctica para el análisis de cualquier tipo de muestras de aceite lubricante por medio del espectrofotometría de absorción atómica, ya que la preparación químico analítica de muestras y patrón es prácticamente igual, así como lo es la posterior medición y cuantificación de elementos para definir si son altamente contaminantes o no.

BIBLIOGRAFÍA

Analytical methods for atomic absorption spectroscopy.

CANADIAN ENERGY RESEARCH INSTITUTE – CERI (UPME). Estudio sobre el manejo de los aceites usados en Colombia.

Curso de entrenamiento en absorción atómica de llama.

GARCÍA MUÑOZ, Tomas. Etapas del proceso investigador: población y muestra. Almendralejo, 2005.

Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados. Convenio 063 de 2005.

Normas ASTM.

Manual del ingeniero mecánico. Tomo 1, 9ª edición, McGraw Hill.

MARTÍNEZ BENCARDINO, Ciro. Estadística. Ecoe Ediciones. 6ª edición, 1992.

SKOOG HOLLER, Nieman. Principios de análisis instrumental. McGraw Hill.

SERWAY, Raymond A. Física. James Madison University: Beichner, Robert J., 1990.