



Pontificia Universidad Católica Del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS Y AMBIENTALES

(ECAA)

INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN

TEMA:

“Análisis de metales pesados de los aceites recuperados de motor (aceites quemados) para la determinación de su calidad”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Línea 4. Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales

Sublínea. Ambiente y Biodiversidad

AUTORA: NADIA SABINA SUASTI GUDIÑO

ASESOR: Ph.D. RUBÉN DEL TORO DÉNIZ

IBARRA, JUNIO - 2021


Ibarra, Junio del 2021

PhD. Rubén del Toro Déniz

ASESOR

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f.).....

PhD. Rubén del Toro Déniz

C.C.: 175754447-1


## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):  .....

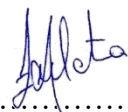
PhD. Rubén del Toro Déniz

C.C.: 175754447-1

(f):  .....

Mgs. Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 100265839-9

(f):  .....


PhD. Cesar Alonso Zuleta Padilla

C.C.: 100103754-6

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo **Nadia Sabina Suasti Gudiño**, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, Junio del 2021

f): .....  .....

Nadia Sabina Suasti Gudiño

C.C.: 100402081-2

## AUTORÍA

Yo, **Nadia Sabina Suasti Gudiño**, portador de la cédula de ciudadanía N° **100402081-2**, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f): .....  .....

Nadia Sabina Suasti Gudiño

C.C.: 100402081-2

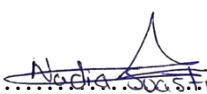
## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: NADIA SABINA SUASTI GUDIÑO, con CC: 100402081-2, autor del trabajo de grado intitulado: “ANÁLISIS DE METALES PESADOS DE LOS ACEITES RECUPERADOS DE MOTOR (ACEITES QUEMADOS) PARA LA DETERMINACIÓN DE SU CALIDAD”, previo a la obtención del título profesional de “Ingeniera en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo”, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ibarra, Junio del 2021

(f.)..........

Nadia Sabina Suasti Gudiño

C.C. 100402081-2

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación dedico especialmente a mis Padres Washington Suasti y Ximena Gudiño quienes supieron guiarme por el buen camino, darme las fuerzas para seguir adelante y no desmayarme en los problemas presentados, ensañándome a encarar las adversidades ni desfallecer en el intento.

A mis hermanos David y Paolo que han sido mi motivación para darles un ejemplo de seguir adelante.

A mi primo Brian Alarcón que ha sido mi confidente y cómplice en las travesías de mi querida Universidad Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

A mis compañeros de clase quienes me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos 9 semestres de convivir en el salón de clases y fuera de la misma.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios quien me permitió llegar a culminar esta meta, con fe y con buenos pasos en todo el transcurso de mis estudios.

A mis padres Washington y Ximena quienes me han apoyado en cada etapa de mi vida y por ser los principales motores de mi vida, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas.

A la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, que con sus docentes he adquirido conocimientos teóricos y prácticos, enseñanzas y valores que han sido dados por los mismos.

Agradezco infinitamente a mi asesor el Ph.D. Rubén del Toro, por su paciencia, comprensión y por su interés manifestado en este presente proyecto de investigación.

A mis amigas y amigos, que con su alegría y amistad me impulsaron a culminar este logro.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I .....	3
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO II .....	5
OBJETIVOS .....	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos .....	5
CAPÍTULO III.....	6
ESTADO DEL ARTE .....	6
3.1 Problemática de los residuos de aceite lubricante de motor a nivel mundial .....	6
3.2 Aceite lubricante .....	7
3.3 Funciones de los lubricantes .....	13
3.4 Vida útil del lubricante .....	14
3.5 Propiedades de los aceites lubricantes .....	15
3.6 Degradación de los aceites lubricantes .....	19
3.7 Aceite usado.....	20
3.8 Características de los aceites usados.....	21
3.8.1 Origen .....	21
3.8.2 Uso .....	21
3.8.3 Contaminantes .....	21
3.9 Composición del aceite usado.....	21
3.9.1 Efectos causados por el aceite usado .....	22
3.9.2 Factores de deterioro.....	23
3.10 Manejo recomendado del aceite usado .....	24
3.10.1 Actores involucrados .....	24
3.11 Alternativas de reutilización y reciclaje del aceite usado .....	25

3.11.1 Reutilización .....	25
3.11.2 Regeneración .....	25
3.11.3 Valorización energética .....	25
3.11.4 Incineración .....	26
CAPÍTULO IV .....	27
MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
4.1 Materiales.....	27
4.2 Métodos .....	28
4.2.1 Determinación de la calidad de los recobrados obtenidos mediante la medida de su viscosidad .....	28
4.2.2 Identificación de la posible eficiencia en el uso de los aceites como combustibles por medio del poder calorífico de los recobrados.....	29
4.2.3 Cuantificación de la concentración de metales pesados en los recobrados de aceite de motor .....	30
4.2.4 Metodología para la Socialización de los resultados .....	35
4.2.5 Determinación del color de los lubricantes previamente tratados .....	35
4.2.6 Determinación de la densidad de los lubricantes tratados .....	36
4.2.7 Determinación de la acidez total de los lubricantes tratados .....	37
4.2.8 Determinación del punto de inflamación de los lubricantes tratados de motor .....	38
CAPÍTULO V .....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
5.1 Determinación de la calidad de los recobrados de acuerdo a su viscosidad.....	40
5.2 Identificación de la posible eficiencia en el uso de los aceites como combustibles por medio del poder calorífico de los recobrados. ....	41
5.3 Cuantificación de la concentración de metales pesados en los recobrados de aceite de motor.....	42
5.4 Determinación del color de los recobrados de motor .....	46
5.5 Determinación de la densidad del aceite de motor usado .....	47
5.6 Determinación de la acidez total de los recobrados de motor .....	48
5.7 Determinación del punto de inflamación de los aceites recuperados de motor .....	49
5.8 Socialización de los resultados .....	50
CAPÍTULO VI .....	52

CONCLUSIONES .....	52
CAPÍTULO VII .....	54
RECOMENDACIONES.....	54
CAPÍTULO VIII.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Viscosidad SAE para diferentes lubricantes.....	12
Tabla 2. Composición media del Aceite Usado.....	22
Tabla 3. Condiciones de uso de Plomo.....	32
Tabla 4. Condiciones de uso de Cobre.....	32
Tabla 5. Condiciones de uso de Cadmio.....	33
Tabla 6. Condiciones de uso de Cromo.....	33
Tabla 7. Condiciones de uso de Aluminio.....	34
Tabla 8. Condiciones de uso de Hierro.....	34
Tabla 9. Condiciones de uso de Zinc.....	35
Tabla 10. Viscosidad dinámica de los recobrados.....	40
Tabla 11. Poder calorífico de los recobrados.....	41
Tabla 12. Concentración y Absorbancia de Plomo.....	43
Tabla 13. Concentración y Absorbancia de Cobre.....	43
Tabla 14. Concentración y Absorbancia de Cadmio.....	43
Tabla 15. Concentración y Absorbancia de Cromo.....	44
Tabla 16. Concentración y Absorbancia de Aluminio.....	44
Tabla 17. Concentración y Absorbancia de Hierro.....	45
Tabla 18. Concentración y Absorbancia de Zinc.....	45
Tabla 19. Concentración de metales pesados con el método MetilIsobutilCetona (mg/l)...	46
Tabla 20. Color de los recobrados de motor.....	47
Tabla 21. Densidad de los recobrados.....	48
Tabla 22. Acidez Total de los recobrados.....	49
Tabla 23. Punto de inflamación de los lubricantes tratados de motor.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva característica de la Viscosidad para aceites derivados del petróleo. ....	9
Figura 2. Viscosidad SAE Monogrados .....	10
Figura 3. Viscosidad SAE Multigrados .....	11
Figura 4. Newtonianos .....	15
Figura 5. Escala demostrativa ASTM D1500 de color .....	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos de la determinación de calidad del aceite de motor usado; viscosidad, poder calorífico, metales pesados, color, densidad, acidez total, punto de inflamación. ....	60
Anexo 2. Determinación de pH de las muestras de aceite de motor usado .....	61
Anexo 3. Determinación del poder calorífico de las muestras de aceite .....	63
Anexo 4. Preparación de los estándares.....	65
Anexo 5. Curva de calibración de Plomo .....	65
Anexo 6. Curva de calibración de Cobre .....	65
Anexo 7. Curva de calibración de Cadmio .....	66
Anexo 8. Curva de calibración de Cromo.....	66
Anexo 9. Curva de calibración de Aluminio .....	66
Anexo 10. Curva de calibración de Hierro .....	67
Anexo 11. Curva de calibración de Zinc .....	67
Anexo 12. Separación del aceite con el agua destilada .....	67
Anexo 13. Peso de la muestra de aceite para titular .....	68
Anexo 14. Calcinación de la muestra de aceite después de realizar el poder calorífico.....	68
Anexo 15. Medición del poder calorífico de las muestras de aceites .....	68
Anexo 16. Medición del punto de ebullición.....	69
Anexo 17. Determinación del color de los recobrados de motor.....	69
Anexo 18. Muestras del aceite usado después de su tratamiento .....	70
Anexo 19. Standares de metales pesados.....	70
Anexo 20. Tubos de ensayo de las muestras de aceites de acuerdo a su metal .....	70
Anexo 21. Determinación de la viscosidad del aceite de motor.....	71
Anexo 22. Traspaso del aceite de motor a un vaso precipitado.....	72
Anexo 23. Formato de encuesta para la socialización del tema de investigación .....	72
Anexo 24. Datos estadísticos de la encuesta de socialización de la investigación .....	73
Anexo 25. Listado de asistencia a la socialización del tema de investigación .....	78
Anexo 26. Invitación para la socialización .....	79
Anexo 27. Socialización Virtual.....	79

## RESUMEN

En este trabajo se muestra una de las formas en que puede abordarse el problema de la contaminación que provocan los aceites quemados de motor, para los que después del proceso de tratamiento y recuperación, proponemos como principal objetivo de este estudio el analizar los parámetros físicos y químicos de sus propiedades recuperadas y confirmar si estas permiten su reutilización en la generación de nuevos aceites de motor o en su uso como combustible en grupos electrógenos, generación de energía en ladrilleras, fábricas de cemento e inclusive en transporte automotor, evitando así la contaminación del medio ambiente por su mal manejo y uso insostenible e incontrolado. El estudio se realizó con las fracciones de los aceites previamente sometidos a un tratamiento de destilación en estudios anteriores, recolectados del Cantón Otavalo. La investigación consistió en determinar la viscosidad de cinco muestras a diferentes temperaturas, las mismas que fueron comparadas con la norma ASTM y con los grados SAE, seguidamente la determinación de su poder calorífico de cuatro de las cinco muestras que fueron comparadas con la norma ASTM y finalmente la determinación de metales pesados que están presentes en estas fracciones. Para ello se tomó 1 ml de cada estándar de metal pesado llevándolo a 10ml en mezclas convenientes de isobutilmetilcetona, obteniendo la curva de concentración del metal y posteriormente se comparó con los contenidos de metales de la norma ASTM para verificar su calidad y posible uso como aceite o combustible. Los principales resultados obtenidos muestran los siguientes valores: Viscosidad 40°C 13,34 cS, Poder calorífico 465,63 kJ/g, metales pesados (Pb 19,9 ppm; Cu 0,03 ppm; Cd 0,39 ppm; Cr 0,73 ppm; Al 16,9 ppm; Fe 1,9 ppm; Zn 0,12 ppm). Los resultados de calidad obtenidos, demuestran que los recuperados de lubricantes de motor usados están dentro de las normas permisibles, obteniendo rangos medios de acuerdo a su calidad, promoviendo así la reutilización de los lubricantes de motor.

**Palabras clave:** lubricante de motor, absorción atómica, estándares de metales, reutilización.

## ABSTRACT

This work shows one of the ways in which the problem of pollution caused by burned motor oils can be addressed, for which after the treatment and recovery process, we propose as the main objective of this study to analyze the physical parameters and chemical properties of their recovered properties and confirm if these allow their reuse in the generation of new motor oils or in their use as fuel in generator sets, power generation in brick kilns, cement factories and even in automotive transport, thus avoiding pollution of the environment due to its mishandling and unsustainable and uncontrolled use. The study was carried out with the fractions of the oils previously subjected to a distillation treatment in previous studies, collected from the Otavalo Canton. The investigation consisted of determining the viscosity of five samples at different temperatures, the same that were compared with the ASTM standard and with SAE grades, followed by the determination of their calorific value of four of the five samples that were compared with the ASTM standard and finally the determination of heavy metals that are present in these fractions. For this, 1 ml of each heavy metal standard was taken, taking it to 10 ml in suitable mixtures of isobutylmethylketone, obtaining the metal concentration curve and later it was compared with the metal contents of the ASTM standard to verify its quality and possible use as an oil. or fuel. The main results obtained show the following values: Viscosity 40 ° C 13,34 cS, Calorific value 465,63 kJ / g, heavy metals (Pb 19,9 ppm; Cu 0,03 ppm; Cd 0,39 ppm; Cr 0,73 ppm; Al 16,9 ppm; Fe 1,9 ppm; Zn 0,12 ppm). The quality results obtained show that the recovered used motor lubricants are within the permissible standards, obtaining average ranges according to their quality, thus promoting the reuse of motor lubricants.

**Keywords:** motor lubricant, atomic absorption, metal standards, reuse.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El aceite de motor se ha convertido en una de las sustancias, más beneficiosa en la vida útil de un motor, ya que, a través de éste, se logra evitar que cada pieza sufra un breve desgaste o alguna lesión debido a que es un factor que aqueja a cualquier máquina.

Alrededor de la lubricación se encuentran muchos factores tanto internos como externos que pueden variar su normal funcionamiento y que unos cambios en las características del mismo podrían causar un sin número de problemas, el principal sería el mecánico, con lo cual conllevaría pérdidas económicas considerables.

La administración de los residuos ha sido un tema de vital importancia en el Ecuador como en el mundo entero. A medida que la sociedad se desarrolla, su estructura, generación y utilización cambian. En el proceso de desarrollo del Ecuador y la demanda de la sociedad, ha traído como resultados la expansión en el volumen de residuos peligrosos como es el aceite lubricante usado.

Ecuador, siendo una nación en desarrollo, no ha dado una debida importancia a los residuos peligrosos y por lo tanto no tiene mayor conocimiento en la infraestructura ambiental para gestionar estos desechos. La ausencia de estas funciones ha ampliado el vertido incontrolado de estos residuos en el entorno que habitamos, además de no contar con plantas para su refinación, causando impactos ecológicos y de salud en el ser humano (Vazquez., 2013).

Los aceites se consideran posiblemente riesgosos para el ambiente debido a su persistencia y su capacidad de propagarse significativamente en el suelo y agua, dando forma a una película que no permite el paso del oxígeno, lo que rápidamente crea una gran degradación del bienestar del ambiente. A causa de los aceites usados existe el peligro adicional de la llegada de venenos peligrosos presentes de forma similar a la de los metales pesados. El vertido de aceites en el terreno puede causar la contaminación en el agua subterránea y superficial, por medio del arrastre del agua producida por las lluvias causando la contaminación de los recursos hídricos (Ramos, 2005).

Las compañías de reciclaje de aceites lubricantes usados mencionan que los aceites de motores usados contienen hidrocarburos que no son biodegradables biológicamente que al descargarse al suelo destruyen el humus vegetal que hace que este se vuelva infértil, al verter a través de las alcantarillas, producen la destrucción de las bacterias de los sistemas de tratamiento, además del contenido de componentes cancerígenos que provocan un daño severo a la piel (Torres Cobos, 2014).

El aceite lubricante usado que se quema bajo condiciones no controladas pueden emitir más plomo al aire que cualquier otra fuente industrial (Ramos,2005).

De esta manera es importante reutilizar los recobrados de los lubricantes de motor usado, generando alternativas de recuperación y así poder disminuir los impactos que estos ocasionan y obtener formas de uso según la calidad y la eficiencia de cada uno de las fracciones que pueden ser recuperadas, debido al gran problema que causa esta sustancia, la cual es catalogada como un desecho peligroso, que causa daño a nuestro ambiente por su mal manejo, sus vertidos a fuentes de agua, como también al suelo y por la irresponsabilidad de las personas.

Se estima que por cada 3 litros de aceite utilizado se adquieren 2 litros de aceite de motor nuevo, mientras que para obtener la misma cantidad de aceite crudo (a partir del petróleo) se requieren alrededor de 140 litros de aceite no renovable, según datos de la Agencia Norteamericana para el Medio Ambiente.

En Ecuador, se entregan grandes cantidades de aceites consumidos que no tienen un tratamiento satisfactorio y un uso adecuado, por lo que en esta investigación se intentó determinar las características físico-químicas y una nueva metodología para la determinación de metales pesados en estos recobrados. En consecuencia, es importante decir que las diversas formas de tratamientos y métodos de evaluar su calidad, sean más inmediatas y menos complejas. Las muestras de aceites utilizadas en este trabajo provinieron de las lubricadoras ubicadas en el Cantón Otavalo, que fueron previamente tratadas en estudios anteriores (Andrango, 2018) de donde se obtuvieron las fracciones de los recobrados de las lubricadoras de Otavalo por medio de dos tipos de destilaciones, hasta obtener cinco muestras las que fueron analizadas para determinar su calidad.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo General**

Analizar los parámetros físicos y químicos de los recobrados de los aceites quemados de motor para ser empleados en la recuperación de aceites o como combustible.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la calidad de los recobrados obtenidos mediante la viscosidad.
- Identificar la eficiencia en la combustión por medio del poder calorífico de los recobrados.
- Cuantificar la concentración de metales pesados en los recobrados de aceite de motor.
- Socialización de los resultados de la investigación al GAD Municipal Antonio Ante.

#### **HIPOTESIS**

¿La recuperación en los aceites quemados de motor, facilitaría la posibilidad de ser reutilizados para el mismo fin o tenga otra utilización.?

## **CAPÍTULO III**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1 Problemática de los residuos de aceite lubricante de motor a nivel mundial**

Los problemas de los residuos del aceite lubricante han seguido en aumento con el pasar de los años, debido a que los contaminantes que ellos poseen, afectan principalmente a las fuentes naturales que son: aire, agua y suelo, causando una preocupación mundial, es por ello que al pasar los días se están buscando opciones para poder disminuir los impactos que generan los residuos de estos lubricantes usados de motor en cada país, particularmente en los países con el nivel más notable de contaminación.

Según La EPA (2013), “al realizar el cambio de aceite en un vehículo, un galón de este contaminante puede afectar a un millón de galones de agua y, por consecuencia, inutilizarlo para las personas, haciéndolo inutilizable para las necesidades de 50 personas”.

El aceite de automóvil puede contener un sin número de sustancias desconocidas, que crean contaminantes y al mismo tiempo un aceite inservible para el que fue hecho. Las principales causas para que exista contaminantes en el aceite se debe a la forma en que a la hora del ensamblaje se hayan quedado en pequeños pedazos de partículas y acumulaciones. Por otra parte, se puede contaminar interior y exteriormente eso, depende en el medio en el que se encuentre (Barrera y Velecela, 2015).

En Ecuador, el aceite usado automotriz es uno de los contaminantes que es catalogado como desecho peligroso, implicando una alerta para todo el país. Debido a la gran demanda de vehículos, esto ha provocado un incremento desmesurado de los residuos de aceites lubricantes. Además, se agrega a esto la falta de conocimiento sobre un adecuado manejo de estos aceites en las distintas provincias del país.

La falta de responsabilidad y compromiso con respecto a los talleres automotrices y lubricadoras en el Ecuador, han generado un incremento incontrolado del vertido de los aceites usados, causando la desaparición de plantas y problemas en la salud de las personas que viven cerca de estos establecimientos. Esto se debe a que los lubricadores o talleres automotrices no cuentan con un adecuado confinamiento de los aceites residuales. (Pozo, 2016)

### 3.2 Aceite lubricante

Según Torres (2014), el aceite lubricante es una sustancia que ayuda a la disminución del contacto entre las partes móviles y superficies metálicas, que a menudo se mueven para disminuir la fricción entre ambas.

Disminuir la fricción: Es reducir el desgaste de materiales y la energía que se requiere para estimular los movimientos.

Funciones del aceite lubricante

- No permitir el contacto directo entre superficies, disminuyendo la fricción, el calor, el ruido, los golpes, el desgaste, etc.
- Mantener los sistemas en perfecto estado.
- Impide la formación de lodos, residuos grumosos y calor disperso.

El aceite lubricante está compuesto por dos partes: una que es la base del aceite y la otra que son las sustancias agregadas, y a su vez, las bases lubricantes forman un aparte del 70 y 90% de la composición del aceite.

#### 3.2.1 Clasificación de los lubricantes por su estado físico

De acuerdo con Álvarez et al. (1998), las clasificaciones de los lubricantes son:

- **Gaseosos:** se encuentran en su fase gaseosa, el más utilizado es el aire que es utilizado a presión formando un colchón entre los elementos en movimiento, pero además se utiliza el Helio y el Neón.
- **Líquidos:** son los obtenidos del petróleo, se establecen mediante un aceite base al que se incluyen sustancias añadidas, para lograr cualidades especiales. Dentro de los lubricantes líquidos hay cuatro grupos, según el punto de partida del aceite base y los que son aceites minerales, grasos, compuestos y de ingeniería.
- **Semisólidos:** estos generalmente tienen una viscosidad mayor que los lubricantes líquidos. Se crean a partir de un aceite base y se adiciona jabones espesantes, lo que le da una consistencia más notable, con el objetivo de que la película del lubricante permanezca más tiempo en la superficie del mismo. Esta clase de aceites incorpora predominantemente aceites.

- **Sólidos:** son películas de aceite fuertemente unidas a las superficies metálicas, lo que produce coeficientes de erosión extremadamente bajos. Se componen de minerales.

### **3.2.2 Clasificación de los lubricantes según la ISO**

Los aceites se pueden clasificar por medio de la Organización Internacional Estandar (ISO) que está vigente desde 1975, pero se iniciaron desde 1979. Antes, los productores de petróleo usaban una codificación que constaba de un nombre y un número para determinar el mismo, lo que terminó siendo datos inadecuados, ya que no dio ningún dato sobre su viscosidad.

El sistema ISO Internacional numera a los aceites en Centistokes a 40 °C, debido a la disposición ISO, los aceites se pueden reconocer fácilmente, por ejemplo, Tellus 68 (DE LA SHELL), el número cercano al nombre (68) muestra la viscosidad de 68 cSt a 40 °C como se mencionó anteriormente (Barrea y Velecela, 2015).

#### **Características del sistema ISO**

Cuando se utiliza el sistema ISO (Organización Internacional de Normalización), se deben considerar lo siguiente:

- Clasifica los aceites en cSt a 40°C.
- Solo relaciona su viscosidad.
- El grado ISO se muestra al final del nombre del aceite.

#### **Curva característica del sistema ISO**

En la figura 1 se puede observar algunas curvas características que permiten determinar la viscosidad, según lo que se requiera, en la escala de la izquierda se tienen estimaciones en cSt y en  $\text{mm}^2 / \text{s}$ , y en la escala inferior están las diversas temperaturas en °C y °F.

En la determinación del valor requerido se traza una curva con las necesidades encontradas en el valor específico. Tal sea el caso que no se pueda tener el valor específico, se traza una curva más cerca como sea posible de las reales, así se obtendrá valores medios que se utilizaran como guías (Barrea y Velecela, 2015)

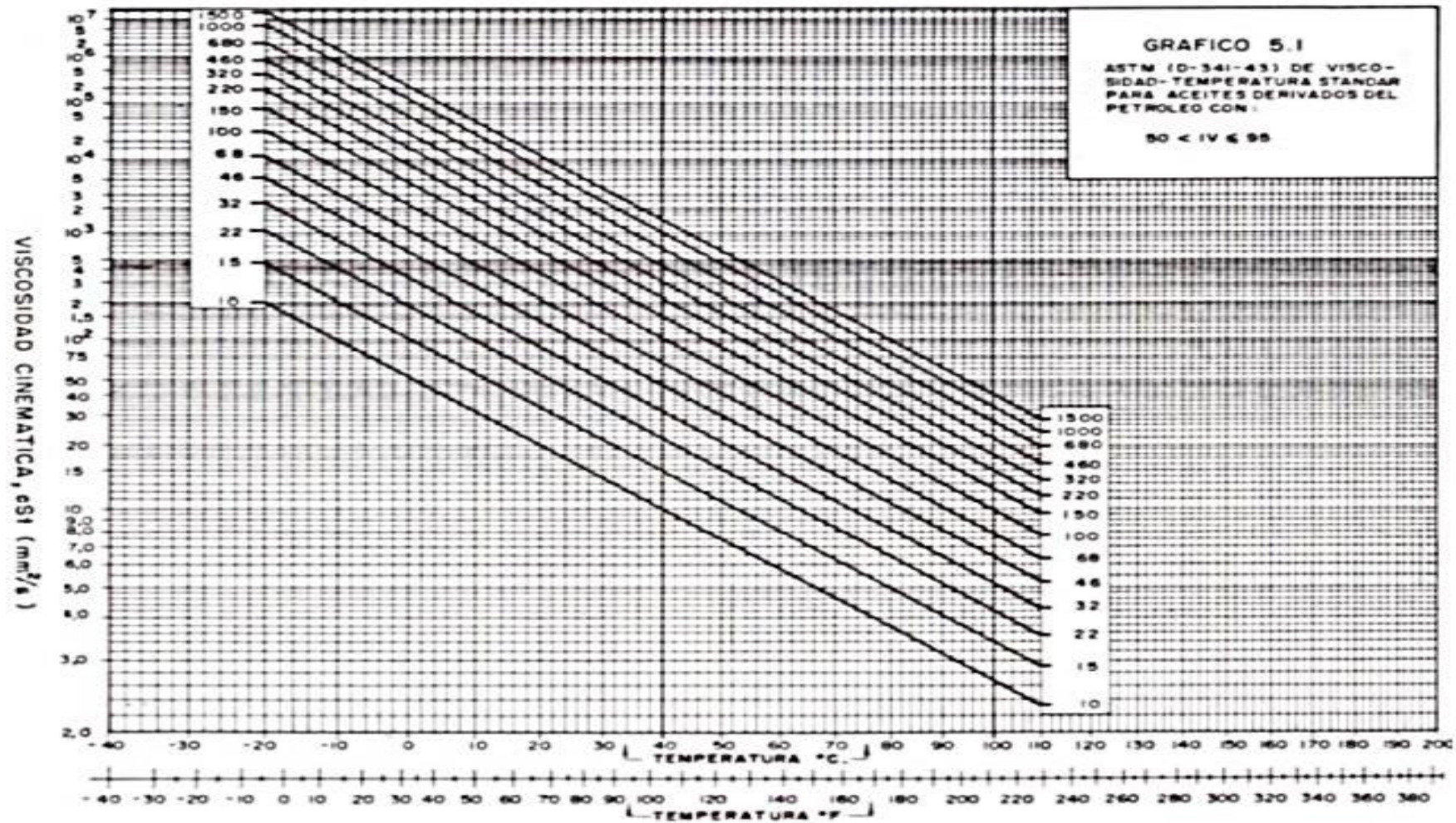


Figura 1. Curva característica de la Viscosidad para aceites derivados del petróleo.

Fuente: Barrera, L. y Velecela, F. Curva característica de la viscosidad para aceites derivados del petróleo. Tesis de pregrado Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Azogues, 2015.

### 3.2.3 Clasificación de los lubricantes según la SAE

De acuerdo a Barrera y Velecela (2015), los lubricantes según la SAE se clasifican en:

- **Aceites Monogrados**

A estos aceites se les establece un determinado número de viscosidad, para esta forma de aceites pueden ser 5° de temperatura de viscosidad durante el verano, expresados de acuerdo con el SAE en cSt (centi-Stokes) y medios a 100° C. su característica principal es que su viscosidad es mejor a altas temperaturas.

Entre ellos tenemos:

- **SAE 20:** Se utiliza en motores que trabajan en climas templados o lugares con temperaturas menores a 0°C.
- **SAE 30:** Se utiliza cuyos motores se encuentren en climas cálidos.
- **SAE 40:** Se utiliza en motores en los cuales se va a utilizar para trabajos pesados, especialmente cuando están sujetos a mucho calor como en verano.
- **SAE 50:** Se utiliza en motores diésel de aspiración natural o motores de combustible a temperaturas de funcionamiento excesivo, esta forma de SAE generalmente se usa en automóviles que pueden estar cerca de 140,000 km.



Figura 2. Viscosidad SAE Monogrados

Fuente: Barrera, L. y Velecela, F. Viscosidad SAE Monogrados. Tesis de pregrado Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Azogues, 2015.

- **Aceites multigrados**

Se asignan dos números a este tipo de aceites, por lo que para este aceite se tiene seis etapas de viscosidad a bajas temperaturas como en invierno. Por lo que el aceite multigrado en hielo admite un comienzo limpio y correcto debido a su fluidez. Por este motivo, el aceite.

Entre ellos tenemos:

- **SAE 5W - 50:** Se utiliza en inviernos no muy fríos y en climas calientes.
- **SAE 15W - 40:** Se utiliza en veranos cálidos o inviernos con frío de intensidad regular y en climas templados.
- **SAE 20W - 50:** Se utiliza en cambios extremos de temperatura como de frío a calor o viceversa.



Figura 3. Viscosidad SAE Multigrados

Fuente: Barrera, L. y Velecela, F. Viscosidad SAE Multigrados. Tesis de pregrado Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Azogues, 2015.

A continuación, se presenta la tabla de valores de viscosidad SAE para diferentes lubricantes.

Tabla 1.

*Viscosidad SAE para diferentes lubricantes*

Grado SAE	Centipoise (cP) a 18°C (ASTM D-2602)	Centistokes (cSt) a 40°C (ASTM D-445)		Centistokes (cSt) a 100°C (ASTM D-445)		Punto estable de fluidez °C
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
0W	-----	-----	-----	3,8	-----	-----
5W	1250	18,48	-----	3,8	-----	-35
10W	2500	20,98	-----	4,1	-----	-30
15W	5000	35,97	-----	5,6	-----	-----
20W	-----	-----	-----	5,6	-----	-----
25W	-----	-----	-----	9,3	-----	-30
20	-----	35,97	80,14	5,6	9,3	-----
30	-----	80,17	125,07	9,3	12,5	-----
40	-----	125,07	169	12,5	16,3	-----
50	-----	169	294,96	16,3	21,9	-----

*Nota:* cP: Centipoise, cSt: Centistokes, ASTM D-2602: Método de prueba estándar para la viscosidad aparente de los aceites de motor, ASTM D-445: Método de prueba estándar para determinación de la viscosidad cinemática y dinámica de aceites de motor.

Fuente: Barrera, L. y Velecela, F. 2015. Tesis de pregrado Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Azogues.

### **3.2.4 Bases minerales**

Son el resultado de los refinados de aceites crudos de petróleo. La fuente del petróleo sin refinar y el procedimiento de refinación deciden las características del aceite base. Los aceites no refinados utilizados en los aceites de motor diésel, están formados básicamente por parafina, nafteno y compuestos aromáticos. Los aceites crudos con mayor contenido de parafina se utilizan con mayor frecuencia en las mezclas de aceites de motor (Galarza, 2017).

### **Las bases nafténicas:**

Según Jones (2007), las bases nafténicas tienen la ventaja de evaporarse y no acumularse en las paredes del cilindro y del área de los anillos después de la lubricación del motor, dejando pequeñas cantidades de hollín, que no repercutirán en grave manera las estructuras del motor.

La base parafínica se caracteriza porque no se vuelve muy viscoso a bajas temperaturas, es muy recomendado para la lubricación de automotores que son utilizados en regiones con estaciones climáticas muy frías.

Los aceites minerales que son obtenidos a partir del petróleo crudo, son usados como refrigerantes, aislantes, dispersantes, entre otras funciones, llegando a ser el más consumido de los aceites automotrices.

### **3.2.5 Las bases sintéticas:**

Estas bases se fabrican mediante procedimientos pocos comunes (diferentes a la refinación) para realizar funciones explícitas, lo que les da una consistencia más prominente en sus propiedades. Estos aceites son la respuesta para el trabajo en temperaturas altas o extremadamente bajas. Los principales puntos de interés de utilizar bases sintéticas comparadas con bases minerales son: amplio alcance de temperaturas de operación, protección más prominente contra la oxidación, ahorro de energía, menos utilización de aditivos y más fácil degradación (Delgado, 2006).

### **3.2.6 Las bases semisintéticas:**

Son una mezcla de aceites sintéticos y minerales, donde conservan sus propiedades iguales sin afectar a las propiedades de las bases sintéticas que siempre están más altas que los aceites minerales y sintéticos. También se incluye una medida específica de sustancias agregadas que mejoran las propiedades generales del aceite. Con este aceite, las características del aceite mineral se mejoran significativamente (Torres, 2014).

## **3.3 Funciones de los lubricantes**

Los aceites lubricantes aseguran el correcto funcionamiento de la maquinaria por lo que cumple funciones importantes entre ellas una es disminuir la fricción entre los elementos (Andrade, 2015).

Según Arias (2013), las funciones importantes son:

- **Eliminar impurezas:** aseguran el paso de impurezas conformadas por el mismo método operativo. Esto se realiza preservando las partículas en suspensión y transportándolas a los factores de eliminación.
- **Refrigerante:** Esta función también es importante además de la lubricación. Donde el aceite facilita a tener un equilibrio térmico de la maquinaria disipando entre el 10% y el 25% del calor general con ayuda del motor.
- **Sellante:** Se encarga de taponar todas las partes por donde hay fugas de gases o de otros compuestos que puedan contaminar al aceite, reduciendo el rendimiento del motor.
- **Transmisor de energía:** Transmite fuerza dentro del dispositivo de un punto a otro.
- **Anticorrosivo y anti-desgaste:** Cuando se reduce la fricción, el aceite lubricante facilita la reducción del desgaste natural de los componentes. Teniendo propiedades anticorrosivas, que pueden ampliarse mediante la adición de aditivos precisos.

### 3.4 Vida útil del lubricante

Como dice Jaramillo et al. (2011), la vida útil de un lubricante está identificada o relacionada con la estructura del motor, con el aceite utilizado, el mantenimiento del motor y sus condiciones de trabajo. Existen algunas variables para la vida útil del aceite del motor.

**Diseño del motor:** Hay partes del motor con espacios libres dimensionadas en todas partes donde se permite una sola película de aceite entre las partes, todos ellos difieren del tipo de motor, cada uno de los cuales funciona a diferentes temperaturas y pesos entre sí.

- **Calidad del lubricante:** se reconoce en la cantidad de sustancias agregadas que tiene y su número Base (TBN), siempre que sean de alta calidad, el lubricante ofrecerá una seguridad más notable para el motor siempre que se aplique la viscosidad correcta.

- **Mantenimiento del motor:** Este factor es el más importante, ya que elige la vida útil del motor, un plan de mantenimiento que se basa en las propuestas del productor donde garantizara mejor la vida útil del aceite.
- **Condiciones de operación:** Las condiciones que deciden el tipo de soporte que debe completarse en el motor, principalmente los tiempos de control y cambio de los componentes del cambio de filtrantes son: temperatura del ambiente, ambiente salino y caminos polvorientos.

### 3.5 Propiedades de los aceites lubricantes

#### 3.5.1 Propiedades Físicas

##### Viscosidad

Es una medida de la resistencia de un líquido a ser desfigurado por una presión de corte. Normalmente se conoce como conductividad de claridad o protección contra caídas. La viscosidad se representa como la firmeza interna de un líquido, pero debe ser una medida de la razón o el roce del líquido.

Para fluidos específicos, la consistencia es constante y solo depende de la temperatura y el peso. Este conjunto se llama fluidos Newtonianos (Widman, 2000).

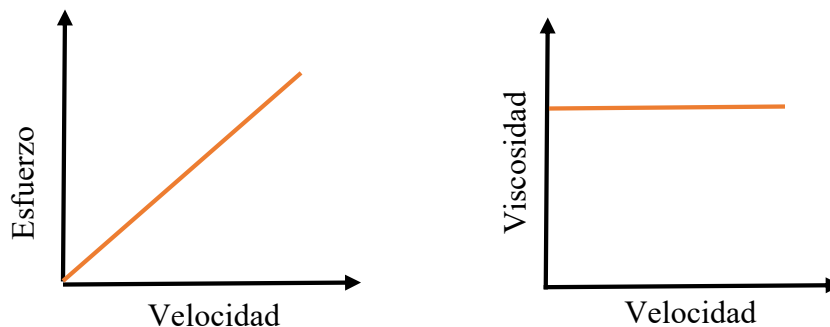


Figura 4. Newtonianos

Fuente: Widman, R. Newtonianos. Widman International SRL. Santa Cruz-Bolivia, 2000.

##### Viscosidad en aceites lubricantes

De acuerdo a Galarza (2017), la viscosidad en aceites lubricantes es:

Una de las características más importantes en la determinación de un aceite lubricante para una aplicación determinada, debido a que se caracteriza como el poder que un fluido restringe la inclinación relativa entre sus partes. En esta línea, la

extensión de este poder se identifica directamente el roce atómico hacia adentro del fluido.

La utilización de un aceite excesivamente viscoso, puede generar una mayor utilización de energía, y también una expansión de la temperatura de trabajo en las piezas del motor, y nuevamente un aceite lubricante que es excesivamente líquido favoreciendo al deslizamiento de petróleo, con el riesgo subsiguiente de la disposición de una película de aceite escaso. Por consiguiente, la elección del aceite hasta la mejor viscosidad posible para una aplicación determinada es, para el bienestar de la máquina a lubricar.

La viscosidad puede ser modificada por varios impactos (temperatura, filtración de agua y combustible, oxidación y nitración) que causan cambios en su conducta, estos pueden mostrar la degradación del propio aceite o anomalías en la actividad del motor, donde la aceptabilidad (índice de viscosidad) se identifica con el kilometraje.

La clasificación de aceites de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), contenida en la norma SAE J300, agrupa los aceites según su espesor (viscosidad) (a través de la numeración, por ejemplo, SAE 10W, SAE 30, SAE 15W40, etc.). Las viscosidades o grados tienen sus puntos de corte en cuanto a la consistencia del aceite a temperaturas específicas.

### **Color en aceites lubricantes de motor**

Según Terradillos (2004), la garantía del color de los productos de lubricantes se utiliza principalmente para fabricar matices y es un componente de calidad, ya que el cliente ve el color con prontitud. De vez en cuando, el matiz puede mostrarse como un signo de contaminación con otro elemento, cuando el color establecido está fuera del rango de matices predeterminado.

Para determinar el color se usa el método ASTM D-1500 “Color ASTM de Productos de Petróleo”.

### **Punto de inflamación**

Para Sierra (1993), el punto de inflamación es la temperatura base a la cual un fluido inflamable descarga suficiente vapor para enmarcar una mezcla inflamable con el aire que abarca la superficie del fluido o dentro del soporte utilizado.

#### Punto de inflamación en aceites lubricantes de motor

Es la temperatura mínima a la que los vapores formados en la superficie del aceite se combustionan a la vista de una llama. La estimación del punto de inflamación demuestra si la disipación o la utilización del petróleo a temperaturas elevadas son mayor o se reduce en cualquier clase de aceite.

### **3.5.2 Propiedades Químicas**

#### **Poder calorífico**

Es la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión climática, de los segmentos de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible.

Por lo general, se enuncia en las unidades siguientes:

- Combustibles sólidos: kWh/kg
- Combustibles líquidos: kWh/g o kWh/l
- Combustibles gaseosos: kWh/kg o kWh/Nm<sup>3</sup>. (\*) gas contenido en 1m<sup>3</sup> a 0°C y presión atmosférica (García, 2001).

#### Poder calorífico en aceites lubricantes de motor

Una de las características que fomentan y mejoran la recuperación de los depósitos de aceites lubricantes, es su alta estimación calórica, que introduce la desventaja, derivada de las utilidades a las que está dedicada, de una alta sustancia de polvos metálicos (Ramos,2005).

Según Monterroso (2012), el poder calorífico puede clasificarse en:

- **Poder calorífico superior**

La mayor estimación calórica o la calidez neta de la combustión, da una señal de la vitalidad que se puede obtener de un combustible.

- **Poder calorífico inferior**

Es la medida del calor que se puede obtener en toda la combustión de la unidad de combustible, sin los resultados de la combustión el agua es como vapor.

### **Acidez total**

Es una estimación comparativa entre los aceites lubricantes nuevos y utilizados, para verificar su nivel de degradación. (González, 2005)

#### Acidez total (TBN) en aceites lubricantes de motor

Es la retención antiácida o esencial de los aceites para equilibrar los ácidos que se originan de la combustión y de la oxidación del aceite debido a las temperaturas elevadas. (Tormos, 2005)

### **Metales pesados**

Hace alusión a cualquier componente o compuesto metálico, que tenga alta densidad y sea peligroso o tóxico a bajos niveles de concentración. Los metales pesados son partes características de la corteza de la tierra, no pueden ser degradados o pulverizados. Hasta cierto punto, se concentra en nuestro cuerpo por medio del alimento, agua potable y aire. (Siguencia, 2013)

#### **Metales pesados en aceites lubricantes de motor**

Los aceites lubricantes utilizados tienen altas concentraciones de metales pesados como, por ejemplo: Pb, Cd, Fe, Zn, Cu, Cr y Al, predominantemente debido al desgaste del motor o aparato que se engrasa, y opcionalmente por contacto con combustibles, similar a las naftas en combustibles que contienen plomo tetraetilo como antidetonante. Además, los disolventes clorados, por ejemplo, tricloro etano,

tricloro etileno y percloroetileno y diferentes contaminantes del tipo del azufre y sedimentos producidos en medio de la combustión. (González, 2005)

Los metales que aparecen en la última pieza de un aceite lubricante utilizado obedecerán básicamente al desgaste del motor debido a los estados de utilización (Vázquez Guillen, 2013).

Para establecer la medida de metales pesados, se debe hacer una evaluación en el aceite que ha sido recuperado ya que la reducción del aceite en la base puede ser un factor significativo para decidir su destino final. La presencia de muchos metales pesados definiría que la base aceitosa sea quemada en un horno a altas temperaturas y de ser lo contrario la base sería un nuevo lubricante (Sigüencia, 2013).

### **3.6 Degradación de los aceites lubricantes**

De acuerdo a Fennell (1992), los factores responsables de la degradación del aceite en los motores de combustión son la contaminación, el agotamiento del aditivo, la falla de oxidación, la falla térmica la falla física.

El primer motivo de contaminación del aceite proviene de los gases de explosión dentro del motor que se componen de subproductos de combustión, agua y suciedad volátil. Esta combustión con la ayuda de productos, comprende ácidos orgánicos e inorgánicos, compuestos hidrogenados y nitratos, carbón, combustible no quemado, junto con productos sustitutos de plomo y aditivos de limpieza de gasolina.

Los gases de combustión de los combustibles diésel contienen cantidades muy excesivas de azufre insoluble y óxidos de carbono y hollín. Uno de los mayores contaminantes que se presenta continuamente es el agua. Estadísticamente, la combustión de un galón de combustible produce aproximadamente un galón de agua. El agua se introduce comúnmente en la caja donde se almacena el aceite lubricante del motor ya sea mediante el uso de gases de combustión y/o a través del dispositivo de enfriamiento defectuoso.

Al anticongelante, también se puede agregar de la misma manera debido a las pérdidas dentro del sistema de enfriamiento. El agua dentro de la caja de almacenamiento del lubricante contribuye a la oxidación, corrosión, depósito de lodo y precipitación de

componentes lubricantes. Además, la introducción de combustibles no quemados en la caja de almacenamiento, motivará la dilución del lubricante y disminuirá su viscosidad.

Los polvos volátiles, hidrocarburos carbonizados, polvo metal y no de acero producido por los sustitutos de plomo y estos se vuelven excesivos. Los ácidos que podrían ser el resultado de la combustión de los productos gaseosos, en conjunto con la oxidación del lubricante, contribuyen sustancialmente a la corrosión que se acumula junto al motor

La degradación del aceite comienza mientras se abre el contenedor y deja entrar el aire, lo que oxida el aceite. El balde o tambor de aceite abierto y usado en varios meses puede ser más oscuro al final de su uso que al inicio. Este nivel de oxidación afecta al aspecto del aceite, sin embargo, no afecta a su comportamiento. En el momento que se cambia el aceite, el nuevo aceite generalmente se combinará con un residuo del aceite usado. Esta mezcla no causa ningún daño en sí misma, pero la siguiente muestra causara residuos de ese aceite y puede parecer degradado (Vázquez Guillen, 2013).

### **3.7 Aceite usado**

Los aceites utilizados son en general aceites modernos con grasas y bases minerales o manufacturadas que se han vuelto insatisfactorias para la utilización que fueron asignadas al principio (Andrade, 2015).

Según ToxFAQs (2007), “Un aceite usado es aquel que después de tener y satisfacer su tiempo de funcionamiento debe ser eliminado, lo que se vuelve opaco, por las sustancias que se mezclan en él, lo que hace que pierda sus propiedades”.

Como lo indica la EPA (1996), un aceite usado es cualquier aceite que se haya refinado a partir de petróleo crudo o cualquier aceite sintético, que se haya usado y debido a ese uso se haya degradado con contaminaciones físicas o de brebaje.

Durante la utilización típica del aceite este puede contaminarse con tierra, partículas metálicas, agua y productos químicos que a largo plazo pueden influir en el desgaste del aceite, eventualmente este debe ser suplantado con un aceite virgen o refinado para que su capacidad pueda seguir funcionando. Los aceites usados deben cumplir con un examen tripartito, para los cuales la calidad puede decidir si una sustancia cumple con los requisitos previos para ser considerada como un aceite usado (Andrade, 2015).

### **3.8 Características de los aceites usados**

Las características de los aceites usados dependen de las propiedades lubricantes de las cuales proceden los aditivos utilizados en su formulación, de los quipos en los cuales fueron utilizados y de las condiciones de manejo durante su acopio y transporte. Como lo indica Peñafiel (2017), las características más importantes son:

#### **3.8.1 Origen**

Es importante el origen del aceite usado porque juega un papel importante para la caracterización de este mismo. El aceite usado es refinado a partir de petróleo crudo o de materiales sintéticos. Cabe recalcar que los aceites usados de origen vegetal y animal no están incluidos.

#### **3.8.2 Uso**

El uso que debería haberse dado a los aceites lubricantes son: fluidos accionados por agua, fluidos para movimiento de calor, flotabilidad y otros medios relacionados.

#### **3.8.3 Contaminantes**

Debido a su utilización es mucho más probable que el aceite usado este contaminado con segmentos físicos, por ejemplo, las partículas metálicas, residuos o tierra, o contaminantes de brebaje por ejemplo los solventes, a luz incandescente o agua saladas.

### **3.9 Composición del aceite usado**

Según Tormos (2005), los aceites usados son una mezcla de diversos productos. Durante el uso, el aceite virgen está contaminado con diversas sustancias como:

- Agua.
- Partículas metálicas, producto del desgaste de piezas metálicas.
- Compuestos órgano-metálicos, con contenido de plomo de la gasolina utilizada en el motor.
- Ácidos orgánicos o inorgánicos causados por la oxidación y por el azufre contenido en la gasolina.
- Compuestos de azufre.
- Restos de aditivos, que contienen fenoles, compuestos de zinc, cloro y fosforo.
- Hidrocarburos polinucleares aromáticos (PAH)

Tabla 2.

*Composición media del Aceite Usado*

Contaminante	Concentración en ppm		
	Aceites lubricantes		Aceite industrial
	Motor Diésel	Motor Gasolina	
Plomo	29,0	2,2	217,7
Cadmio	1,1	1,7	6,1
Cromo	2,0	9,7	36,8
Zinc	32,0	951,0	373,3
Cloro total	3600,0	3600,0	6100,0
Bifenilos policlorados (PCB'S)	20,7	20,7	957,2

Fuente: Torres, P., 2014. Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador.

### 3.9.1 Efectos causados por el aceite usado

De acuerdo a Pozo (2016), El aceite automotriz usado tiene un impacto arriesgado y terminal en la naturaleza y el bienestar humano, debido a la consistencia que tiene provoca una progresión de males en los diversos medios donde se vierte o derrama, causando así una alteración total del entorno al cual está afectando.

Este aceite usado, cuando está completamente expuesto a la luz solar y al aire, es capaz de emitir una gran cantidad de compuestos tóxicos como: Pb, Zn y Cr.

Los impactos que tiene el aceite usado automotriz derivados del petróleo cuando entra en contacto directo con los diversos medios ambientales, por ejemplo: suelo, aire y agua, es extraordinariamente alto.

**Efectos en el suelo:** el aceite cuando se derrama en el suelo causa esterilidad debido a que el aceite usado contiene hidrocarburos que provocan la desaparición del suelo y transforma la vegetación en un sistema inerte.

Además, el aceite derramado en el suelo causa un impacto destructivo en la tierra, ya que cuando entra en contacto con la luz del sol y ayuda del aire, irradia compuestos tóxicos,

permitiendo que estos compuestos sean filtrados a través del suelo y contaminen el mismo.

Cabe recalcar que el aceite usado derramado en el suelo tiene la capacidad de expandirse rápidamente, lo que ocasiona la formación de un film que no permite el ingreso de oxígeno, lo que conlleva a lo que hoy en día se conoce como suelos infértiles o poco productivos.

**Efectos en el aire:** la contaminación del aire está influyendo sorprendentemente en la salud de todas las personas ya que todos inhalamos aire, pero este no es puro es un aire contaminado.

**Efectos en el agua:** los diferentes impactos que causan los aceites usados al ser vertidos en el agua, ya sea directamente en arroyos, ríos o por medio del alcantarillado, estos producen daños irreversibles.

### **3.9.2 Factores de deterioro**

Es factible mencionar como factores de desgaste a aquellos que pueden oxidar al aceite lubricante. En condiciones ideales de trabajo, la base del aceite no contamina ni se deteriora, siendo las sustancias añadidas las que se resisten a las condiciones básicas del funcionamiento del trabajo. Los factores son:

#### Temperatura de operación

Los productos a base de aceite no pueden deteriorarse cuando se exponen a altas temperaturas, haciendo que el aceite se oxide o polimerice. En el momento en que los resultados de estas respuestas no se eliminan, provocan un desmoronamiento de las superficies metálicas o de los tubos de unión a través de los cuales circula el aceite. No obstante, la oxidación y polimerización depende del lugar de nacimiento del aceite y de su nivel de refinamiento (Torres, 2014).

A temperatura ambiente, el aceite muestra un nivel de desintegración, sin embargo, esto no influye fundamentalmente en su utilización. A una temperatura inferior a 50°C la

velocidad a la que se oxida el aceite es muy baja. En consecuencia, cuanto menor sea la temperatura de su utilización menor será el deterioro (Tormos, 2005).

### Agua

El agua que se puede encontrar en los aceites es resultado de la acumulación de vapores de agua presentes en el clima, a pesar de que también puede deberse a los orificios en la estructura de enfriamiento del aceite. El agua que se encuentra en el aceite provoca su emulsificación, sin embargo, también puede limpiar la capa de grasa que se encuentra en la superficie del metal y a su vez provocando su desgaste (Suntaxi, 2012).

### Combustibles

En el aceite usado la presencia de combustibles se debe al paso que existe entre en al aceite a la cámara de combustión. En el momento en que el aceite y el combustible interactúan, el combustible se debilita, haciendo que sus partes se mezclen con las de aceite (Peñafiel, 2017).

### Sólidos

Los residuos de polvo y los sólidos se deben a los empaques y sellos que se encuentran en malas condiciones, lo que hace que los contaminantes del medio ingresen al aceite. Del mismo modo, las contaminaciones por el suelo, por partículas metálicas que provienen del desgaste de las piezas (Tormos, 2005).

## **3.10 Manejo recomendado del aceite usado**

### **3.10.1 Actores involucrados**

Como dijo Rodríguez et al. (2006), La gestión integral del aceite usado empieza con la prueba reconocible y la responsabilidad de los actores involucrados en el mismo. Siendo los siguientes:

- **Fabricante o importador:** es una persona natural o jurídica que produce o importa aceites de engrase.
- **Acopiador:** Fabrica y recolecta los aceites utilizados para una nueva utilización.

- **Transportador:** Es el responsable de transportar los aceites utilizados.
- **Almacenador:** Es aquel que almacena brevemente el aceite usado.
- **Tratador:** Entidad que utiliza el aceite usado con el propósito de crear nuevos productos a partir del mismo y que se puedan realizar para otras cosas.
- **Disponedor final:** Elemento que obtiene el aceite usado sin tratamiento y lo arregla completamente según las normas establecidas.

### **3.11 Alternativas de reutilización y reciclaje del aceite usado**

#### **3.11.1 Reutilización**

El aceite puede ser reutilizado en máquinas de corte o en sistemas hidráulicos. Este factor es muy importante en cuanto a su calidad permitiendo un tratamiento en donde se realiza la eliminación de contaminantes insolubles y elementos de oxidación (Martínez, 2005).

#### **3.11.2 Regeneración**

Para hacer que los aceites utilizados sean apropiados para su reformulación y uso, es posible que los aceites se sometan a tratamientos para la recuperación de una parte de las bases del aceite original. A menudo se dice que los aceites utilizados son reutilizables, sin embargo, el costo para su reutilización es muy alto lo que ocasiona un problema grande para realizar este proceso (Martínez, 2005).

#### **3.11.3 Valorización energética**

Debido a su alto valor calórico, el aceite utilizado tiene una pérdida alta para ser utilizado como combustible. Para ser usado como combustible el aceite debe ser mezclado con fuel-oil en calderas mecánicas y hornos de concreto donde estos pierden su valor energético. El aceite puede utilizarse mediante combustión directa o con un pretratamiento del aceite usado, dependiendo de la antigüedad de las calderas. Esta utilización no es factible debido a la contaminación que provoca en el aire (Peñañiel, 2017).

#### **3.11.4 Incineración**

La destrucción de los aceites utilizados en incineradores de residuos peligrosos ocurre cuando presentan contaminantes como metales pesados o halógenos que no permiten que se utilicen como combustibles (Peñañiel, 2017).

## CAPÍTULO IV

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1 Materiales

- Vasos de precipitación de 100 ml y 250 ml (marca BOECO)
- Guantes quirúrgicos (marca Super Max – Black Nitrile Examination Gloves)
- Termómetros (marca Promo Lab, 250 °C., Code 20)
- Gotero plástico (3ml PK10)
- Hornilla eléctrica (voltaje 120 V, potencia eléctrica 1100W, Frecuencia 60 Hz, marca HACEB)
- Embudo de decantación (marca LMS ,2.5 mm-250 ml, NS 14.5)
- Soporte universal acero inoxidable (marca Industrial Nacional, varilla de 22 mm x 113 cm)
- Tubos de ensayo de vidrio tapa rosca (10 ml y 20 ml)
- Pipetas de vidrio 10 ml, 20 ml y 5 ml
- Micropipeta 1000 µl (marca Eppendorf Research Plus)
- Balones volumétricos 100 ml y 50 ml (marca LMS)

#### Equipos

- Campana de laboratorio (Modelo LABCONCO Protector Laboratory Hood) (Serie: 081296785X)
- Balanza analítica (ADAM) (serie: AE4383758)
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Modelo SensAA GBC Scientific Equipment Dual) (Serie:12367)
- Potenciómetro (pH-metro) (LaMotte) (Serie: VYGYV7KW)
- Viscosímetro rotacional (BROOKFIELD) (Serie: 8501112)
- Bomba Calorimétrica (Modelo Parr 6100) (Serie:M21277)

#### Reactivos

- Metil Isobutil Cetona (EMSURE, ACS, ISO, Reag. Ph Eur), puro para análisis
- Standares de metales pesados
- Anaranjado de metileno 0.1ml

- Hidróxido de Potasio (KOH 0,1N)

## **4.2 Métodos**

En esta investigación se realizaron varios métodos como descriptivos, prácticos y bibliográficos para alcanzar el objetivo principal propuesto.

Esta investigación se realizó en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, dando continuidad a la primera fase del proyecto donde se destiló al vacío el aceite recolectado de las lubricadoras del Cantón Otavalo, para obtener las fracciones del aceite de motor recuperado y así realizar la segunda fase que es la determinación de la calidad del aceite recuperado tratado.

### **4.2.1 Determinación de la calidad de los recobrados obtenidos mediante la medida de su viscosidad**

El proceso de viscosidad se realizó en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales en el Laboratorio de Química. Para proceder con la determinación de la viscosidad se tomó como guía la metodología empleada en una tesis anterior realizada (Chirán, 2017).

- Preparación de las muestras

Se tomó 150 ml a 200 ml de las 4 muestras (M2, M3, M4 y M5) de aceites recuperados en estudio, en diferentes vasos de precipitación de 250 ml, calentándolos a temperaturas de 40°C y 100°C.

- Calibración del equipo

Se procedió a calibrar el equipo con el tubo rotacional, el cual se fue ajustando con la perilla, hasta que la burbuja de calibración (Ojo de pollo) se encuentre en el círculo rojo.

- Toma de lectura de las muestras

Las muestras previamente calentadas a diferentes temperaturas, se procedió a colocar el tubo rotacional, donde se programó las revoluciones por minuto de acuerdo a la temperatura y a la viscosidad de las fracciones de aceites. Para las fracciones 2, 3 y

4 se realizaron a 50 revoluciones por minuto y la fracción 5, a 30 revoluciones por minuto.

- **Determinación de la calidad viscosimétrica**

Para la determinación de la calidad se compararon los resultados obtenidos con la Norma ASTM de viscosidad de acuerdo a los grados SAE y a la temperatura que estos fueron determinados. Si la viscosidad a 40°C tiene entre un rango de 20-30 centipoise, su calidad va ser la requerida para un automóvil pequeño que tenga un motor de 40W.

#### **4.2.2 Identificación de la posible eficiencia en el uso de los aceites como combustibles por medio del poder calorífico de los recobrados.**

El proceso para la determinación del poder calorífico se realizó en el Laboratorio de Bromatología. Según Beltrán y Guerrero (2018), para la verificación de sus resultados dentro de las normas ASTM establecidas para el poder calorífico en un aceite usado previamente recuperado se realizó lo siguiente:

- **Preparación del equipo**

Se procedió a sacar el recipiente de combustión, el cual fue llenado de agua destilada, posteriormente se limpió la cubeta, en donde se colocó las muestras de las 5 fracciones de aceites.

- **Pesaje de las muestras en la cubeta**

Para el pesaje de las muestras se colocó 1 ml de cada fracción en las cubetas previamente lavadas y secadas, las cuales fueron pesadas en gramos en la balanza analítica en donde se determinó el pesaje al inicio del proceso y al final cuanto se quemó el aceite.

- **Toma de lecturas de las muestras**

Una vez pesadas las muestras, se colocó un hilo en la parte interior de la tapa del recipiente de combustión, topando la base de la cubeta previamente colocada en la misma tapa. Se procedió a colocar la tapa en el recipiente de combustión la cual es ajustada y llenada de oxígeno. Se colocó en el quipo y se procedió a correr por 20

minutos para la obtención de los resultados de las lecturas. En donde se realizaron 5 repeticiones por cada fracción.

- Identificación de la calidad.

Para su calidad los resultados obtenidos fueron comparados con la norma ASTM D 240. Si su poder calorífico excedía de los 500 kJ/g el aceite lubricante pierde casi el 80% de los metales pesados.

#### **4.2.3 Cuantificación de la concentración de metales pesados en los recobrados de aceite de motor**

La espectrometría de absorción atómica es una técnica para la determinación de concentración de metales pesados presentes en una muestra, para este proceso se utilizó la metodología de llama, con el solvente ISOBUTILMETILCETONA.

- Preparación del Equipo

Se procedió a la verificación de la presión necesaria de los gases a utilizar. Seguidamente se encendió el equipo y se verificó que las piezas para llama estuvieran conectadas correctamente, luego se encendieron los gases para la determinación de metales en las muestras 1, 2, 3, 4 y 5, Se emplearon para el análisis: Acetileno, Aire, y Óxido Nitroso. Se ejecutó el programa GBS SavantAA versión 3.02 software de control y se colocó la lámpara correspondiente a cada elemento que se va a medir (Leal, 2014).

De acuerdo a Arellano (2014), la preparación de las muestras bases y de las soluciones se realizarán de la siguiente manera:

- Preparación de las muestras Base

Se preparó la muestra base para cada metal (Al, Pb, Cr, Cu, Fe, Zn, Cd), con 1 ml de cada estándar más 9 ml del reactivo isobutilmetilcetona.

- Preparación de las soluciones

Las soluciones fueron preparadas empleando la fórmula de  $C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$ , la que nos permitió obtener varios puntos para poder lograr la curva de calibración del metal

requerido. Se tomó de 4 a 5 puntos los cuales fueron llevados a 9 ml de isobutilmetilcetona para todas las muestras, este reactivo se empleó debido a que cumple la función de disolver las grasas y disminuir su viscosidad para que ayude a que los aceites de estas muestras se disuelvan fácilmente sin obstrucción del tubo de absorción del equipo.

La metodología que se utilizó, empleando la adición del reactivo Isobutil metil cetona que evito el proceso de calcinación de las muestras de aceite, debido a que este lleva mucho tiempo en calcinarse y puede provocar posibilidad de errores por vaporización del metal en la muestra o por arrastre del metal.

Según Jimenez (2011), la obtención del patrón, curva de calibración y la cuantificación de la concentración de metales pesados se ejecutan de la siguiente manera:

- Obtención del patrón y curva de calibración

Una vez obtenidas las diferentes disoluciones para el trazado de la curva, se realizó la calibración y se procedió a ir al Espectrómetro en donde se colocaron los 4 o 5 tubos de ensayo más el blanco para tener los 4 o 5 puntos patrones y así obtener los valores de absorbancia para cada punto.

- Cuantificación de la concentración de metales pesados

En base a la curva se procedió a correr las muestras de aceite. Como se puede observar las condiciones en las que se trabajó el equipo de absorción atómica con los elementos Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cadmio (Cd) y Zinc(Zn) que sirven de referencia para la determinación de metales pesados, fueron las correspondientes a las tablas 3, 4,5, 6, 7, 8 y 9.

Tabla 3.

*Condiciones de uso de Plomo*

Instrumento		Elemento Plomo Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	5,00	Modo de medición	Altura de pico	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	217,00	Tiempo constante	1,00	Unidades	ng/ml
Ancho de rendija (nm)	1,00	Replicas	1	Decimales	3
Altura de rendija	Reducido				
Max error = 0,2770	R <sup>2</sup> = 0,9990		R= 0,9995		
Concentration	262,3365*Abs				

Elaborado por: El Autor

Tabla 4.

*Condiciones de uso de Cobre*

Instrumento		Elemento Cobre Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	3.00	Modo de medición	Integración	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	324.70	Tiempo constante	0.00	Unidades	ug/ml
Ancho de rendija (nm)	0.050	Replicas	3	Decimales	3
Altura de rendija	Normal				
Max error = 0,1267	R <sup>2</sup> = 0,9902		R= 0,9951		
Concentración	7,5415*Abs				

Elaborado por: El Autor

Tabla 5.

*Condiciones de uso de Cadmio*

Elemento Cadmio					
Instrumento		Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	3,00	Modo de medición	Altura de pico	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	228,80	Tiempo constante	0,00	Unidades	ug/ml
Ancho de rendija (nm)	0,50	Replicas	3	Decimales	3
Altura de rendija	Normal				
Max error = 0,0405		R <sup>2</sup> = 0,9976		R= 0,9988	
Concentración			4,4147*Abs		

Elaborado por: El Autor

Tabla 6.

*Condiciones de uso de Cromo*

Elemento Cromo					
Instrumento		Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	6,00	Modo de medición	Integración	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	357,9	Tiempo constante	0,00	Unidades	ug/ml
Ancho de rendija (nm)	0,2	Replicas	3	Decimales	3
Altura de rendija	Normal				
Max error = 0,1356		R <sup>2</sup> = 0,9971		R= 0,9985	
Concentración			26,4257*Abs		

Elaborado por: El Autor

Tabla 7.

*Condiciones de uso de Aluminio*

Elemento Aluminio					
Instrumento		Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	6,00	Modo de medición	Integración	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	357,90	Tiempo constante	0,00	Unidades	ug/ml
Ancho de rendija (nm)	0,20	Replicas	3	Decimales	3
Altura de rendija	Normal				
Max error = 1,5659		R <sup>2</sup> = 0,9979		R= 0,9989	
Concentración			3512,3728*Abs		

Elaborado por: El Autor

Tabla 8.

*Condiciones de uso de Hierro*

Elemento Hierro					
Instrumento		Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	7,00	Modo de medición	Integración	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	248,30	Tiempo constante	0,00	Unidades	ug/ml
Ancho de rendija (nm)	0,20	Replicas	3	Decimales	3
Altura de rendija	Normal				
Max error = 0,2117		R <sup>2</sup> = 0,9962		R= 0,9981	
Concentración			132,8054*Abs		

Elaborado por: El Autor

Tabla 9.

*Condiciones de uso de Zinc*

Elemento Zinc					
Instrumento		Medición		Calibración	
Corriente de lámpara (mA)	5,00	Modo de medición	Integración	Modo de calibración	LS Lineal hasta cero
Longitud de onda (nm)	213,9	Tiempo constante	0,00	Unidades	ug/ml
Ancho de rendija (nm)	0,50	Replicas	3	Decimales	3
Altura de rendija	Normal				
Max error = 0,0103		R <sup>2</sup> = 0,9992		R= 0,9996	
Concentración			25,4209*Abs		

Elaborado por: El Autor

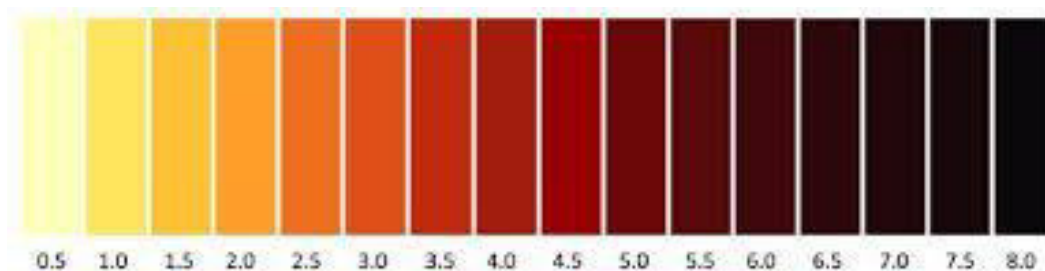
#### **4.2.4 Metodología para la Socialización de los resultados**

El tema de investigación se socializo vía online, en donde se contó con la presencia de docentes y colegas de la carrera de Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra y con la presencia del director de MEDIAMBET, mediante una invitación que contenía información base del proyecto sobre la calidad de los lubricantes de motor (viscosidad, poder calorífico, concentración de metales pesados, punto de inflamación, color, densidad y acidez total).

Adicional a los cuatro objetivos planteados, se determinó más índices de calidad para el lubricante de motor, siendo estos los siguientes:

#### **4.2.5 Determinación del color de los lubricantes previamente tratados**

Para la determinación del color de los aceites se tomó como referencia la escala demostrativa de color ASTM, como se puede observar en la figura 5.



*Figura 5.* Escala demostrativa ASTM D1500 de color

Fuente: Chiran, A. Escala demostrativa ASTM D1500 de color. Tesis de pregrado Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, 2017.

Según Chirán (2017), la preparación de la muestra y la determinación del color se desarrollan de la siguiente manera:

- Preparación de la muestra  
Se procedió a colocar las 5 muestras de aceites en frascos vial de vidrio transparente.
- Determinación del color  
Una vez colocado el aceite en los frascos vial, se llevó a los frascos viales a un lugar claro y se colocó la escala demostrativa de la norma ASTM D1500, debajo de los frascos viales y se procedió a observar el color del aceite y se anotaron sus valores.

#### **4.2.6 Determinación de la densidad de los lubricantes tratados**

La determinación de la densidad de las cinco muestras de los lubricantes usados previamente tratados se realizó en el laboratorio de química, es un dato de los más importantes para la determinación de su calidad.

De acuerdo a Álvarez (2013) para la determinación de la densidad se debe realizar lo siguiente:

- Preparación del equipo  
Se tomó una hornilla eléctrica que cuenta con tres temperaturas (baja, media y alta), se colocó la rejilla de asbesto encima de la hornilla, en la parte trasera de la hornilla se coloca el soporte universal con las pinzas que van a sostener al termómetro.

- Preparación de la muestra

Se tomaron 10 ml de las 5 muestras de aceites en tubos de ensayo de 10 ml, seguidamente se pesaron y se procedieron a colocar en la hornilla a una temperatura media.

- Determinación de la densidad

Una vez colocadas las muestras en la hornilla, se procedió a tomar la temperatura a 100°C y 40°C, con ayuda de los termómetros, una vez que las muestras llegaban a la temperatura de 40°C se procedió a pesar en las balanzas analíticas, para continuar con la temperatura de 100°C se dejó enfriar las muestras y se repitió el proceso mencionado anteriormente hasta que lleguen a 100 grados y seguidamente se pesaban, y se procedió a anotar sus pesos de acuerdo a sus temperaturas.

Para la determinación de la densidad utilizamos la siguiente formula  $(d = \frac{m}{v})$  donde reemplazamos los valores de masa por el peso en gramos de las muestras a las diferentes temperaturas dividido para el volumen inicial que fueron 10 ml, obteniendo así la densidad en g/ml y seguidamente se comparó con las normas ASTM D1298 de la densidad para lubricantes usados.

#### **4.2.7 Determinación de la acidez total de los lubricantes tratados**

La determinación de la acidez total de los lubricantes lo realizamos en el laboratorio de química de la PUCESI, mediante titulaciones, este dato nos permite identificar si el lubricante cumple o no con algunas especificaciones que definen las propiedades por las cuales fue creado este lubricante (Chirán, 2017).

- Calibración del potenciómetro

Se procedió a calibrar el equipo con buffer(pH=7) hasta que nos dé un valor a 7 o cercano a 7 que es el valor apropiado, una vez calibrado el equipo se procedió a determinar la acidez total.

- Preparación de las muestras

Se pesó en tubos de ensayo de 10 ml 2,5 gramos de cada muestra, luego se procedió a añadir 10 ml de agua destilada en un embudo de decantación y adicionamos los 2,5

g del aceite. Seguidamente, se separó la fase acuosa en un vaso de precipitación de 100 ml, de donde se extrajo dos veces más con 5 ml de agua destilada. Una vez obtenido el aceite se procedió a añadir 0,1 ml de anaranjado de metilo, cuando la muestra tomó una coloración rosa o roja se adicionó Hidróxido de Potasio 0,01N hasta que tomó una coloración parda.

- **Determinación de la acidez total**

Se procedió a colocar el electrodo, muestra por muestra donde en la pantalla principal se nos visualizaba el número de acidez que tenía cada muestra. Cabe mencionar que después de cada muestra se lavaba el electrodo con metanol y seguidamente con agua destilada hasta calibrar de nuevo el electrodo. Y sus resultados fueron comparados con la normativa ASTM D-974.

#### **4.2.8 Determinación del punto de inflamación de los lubricantes tratados de motor**

La determinación del punto de inflamación de los lubricantes de motor fue realizada en el laboratorio de química de la PUCESI. El punto de inflamación es importante ya que nos permite determinar la importancia en los almacenajes para así poder clasificar el riesgo y su aplicación (aceites para compresores y cilindros) (Chiran, 2017).

- **Preparación del material**

Colocar los termómetros con corchos, los cuales tengan una abertura por la cual ingresen los termómetros, para las muestras 1, 2 y 3, luego colocarlos en soportes universales.

- **Preparación de la muestra**

Para las muestras 1, 2 y 3 se tomaron 50 ml en vasos de precipitación de 100 ml los que se colocaron encima de la malla que estaba en la hornilla a temperatura media, para las muestras 4 y 5 se colocó 15 ml en crisoles y se realizó lo mismo que las muestras 1,2 y 3, hasta obtener una fluidez optima de cada muestra.

- **Determinación del punto de inflamación**

Una vez que las muestras fueron colocadas en la hornilla a temperatura media se procedió a colocar el termómetro en una posición en la que no tope las paredes del

vaso de precipitación en las muestras 1, 2 y 3, toca observar que el bulbo del termómetro se sumerja en las muestras de aceites y este a unos 3mm de la base del vaso de precipitación. Cuando este emita su primer vapor se toma la lectura de esa temperatura.

Para las muestras 4 y 5 se realizó con el termómetro digital debido a la temperatura que este poseía al momento de expulsar el primer vapor ya que eran temperaturas mayores a los 250 °C, comparando con la normativa ASTM D-93.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Determinación de la calidad de los recobrados de acuerdo a su viscosidad

Se realizó la preparación de las muestras que fueron calentadas a diferentes temperaturas por medio de la hornilla eléctrica, mediante el equipo Viscosímetro rotacional (BROOKFIELD), se obtuvieron los resultados que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

*Viscosidad dinámica de los recobrados*

Temperatura	Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5	
	50rpm		50 rpm		50rpm		30rpm	
	cP	%	cP	%	cP	%	cP	%
40°C	11,23 (0,1Pa.s)	9,66	20,77 (0,02Pa.s)	17,33	59,5 (0,06Pa.s)	49,6	98,7 (0,1Pa.s)	49,37
cS	13,34		23,23		70,67		115,44	
100°C	4,7	3,9	5,97	4,97	12,1	10,1	17,89	8,93
cS	5,71		6,95		14,49		21,12	

*Nota:* cS: centistokes, cP: centipoise, Pa.s: Pascal- segundos

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 10 se observan los valores promedios obtenidos para la viscosidad dinámica de las muestras (M2, M3, M4, M5) de los recobrados de aceites de motor teniendo un promedio mínimo de 9,66 % y máximo de 49,37% a temperatura de 40°C, 3,9 % y 10,1 % a temperatura de 100 °C, entrando dentro los límites permisibles de acuerdo a la norma ASTM-D-445. Estos resultados se contrastan con la referencia en donde se reportan las viscosidades de aceites nuevos y recuperados, obteniendo los rangos medios que van desde >6,1 cS hasta 21,1 cS, a temperatura de 100°C, y a temperatura 40°C va desde 11,5 cS hasta 145,2 cS. Esta diferencia se debe a que los lubricantes fueron clasificados de acuerdo al uso

y tipo de automóvil ya sea a gasolina o a diésel, según (Siguencia, 2013), mientras que los aceites recuperados fueron mezclas de aceites residuales, sin clasificación.

## 5.2 Identificación de la posible eficiencia en el uso de los aceites como combustibles por medio del poder calorífico de los recobrados.

Se realizó el pesaje de las muestras, donde se coloca una cantidad del aceite lubricante en la cápsula, posteriormente se colocó la muestra en la cápsula que va dentro del frasco de combustión y se procedió a la toma de lecturas mediante la Bomba Calorimétrica Parr 6100, esta bomba es de tipo desmontable, un tipo de calorímetro con compensación, su tiempo de operación por prueba es de 6 minutos, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11.

### *Poder calorífico de los recobrados*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Promedio cal/g	11409,208	11464,273	11121,919	11168,735	11200,949
Promedio kJ/kg	47768	47998,6	46565,3	46761,3	46896,2
Promedio MJ/kg	47,768	47,9986	46,5653	46,7613	46,8962

*Nota:* kJ: kilojoule; MJ: Megajoule; cal: calorías, el equipo nos arrojó resultados en cal/g, para poder comparar los valores obtenidos se realizó dos transformaciones, debido a que el poder calorífico se expresa en unidades de MJ/Kg.

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 11 se pueden observar los valores promedios obtenidos en la investigación para el poder calorífico de las muestras (M1, M2, M3, M4, M5) de los recobrados de aceites de motor teniendo un promedio mínimo de 46,5653 MJ/kg y máximo de 47,9986 MJ/kg. En la norma internacional ASTM D-240 para aceites combustibles, el poder calorífico inferior debe estar alrededor de 45,000 kJ/kg y nuestros recobrados están alrededor de este valor. Este parámetro es de gran importancia ya que nos permite determinar para que va ser utilizado nuestro aceite debido al gran potencial energético que posee. Los aceites nuevos

siempre van a estar destinados específicamente para ciertos motores industriales, automotores, etc. Los resultados obtenidos nos arrojaron que los recuperados pueden ser empleados como combustibles alternativos. Estos resultados fueron comparados con la referencia en donde se reporta el poder calorífico del aceite usado como combustible alterno y de un nuevo aceite, obteniendo 44,2921 MJ/Kg en aceite usado y 42,3997 MJ/Kg en aceite nuevo (BUNKER) (Cabrera, 2018)

Se concluye que la alternativa de uso para este lubricante reutilizado es como combustible de cementeras por su mayor potencial energético, de igual manera para industrias, otros usos como membranas asfálticas, pinturas y barnices, gracias a su mayor potencial de combustión.

### **5.3 Cuantificación de la concentración de metales pesados en los recobrados de aceite de motor.**

Se realizó el pesaje de una gota (0,1 gramos) de la muestra del aceite recuperado, donde se añadió 9 ml del compuesto MetilIsobutilCetona mas 1ml metanol para que el aceite pueda disolverse sin quedar poros en las paredes del tubo de ensayo, seguidamente se realizó la curva de calibración con 4 o 5 puntos para poder determinar la concentración en ppm de cada metal pesado. El uso de este solvente en los aceites de motor ayuda a que sus partículas se disuelvan bien sin perder las propiedades del aceite después de su tratamiento, en general los solventes proporcionan la menor viscosidad de acuerdo a su utilización, cuando no se disuelven bien, la cadena de éste se enrolla y su disolución es algo viscosa, por el contrario, si el poder del disolvente es elevado, las macromoléculas se extienden proporcionando una menor viscosidad y así llegando a una conclusión que el mejor disolvente es el que proporciona la menor viscosidad posible.

Por este motivo, se vio la necesidad de emplear esta metodología que es más segura y confiable, evitando el proceso de calcinación el cual lleva mucho tiempo y se perdían algunos metales pesados por evaporación. Con el solvente metilisobutilcetona, el aceite presento una excelente solubilidad. Obteniendo así las concentraciones y absorbancias para las curvas de cada metal como se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 12.

*Concentración y Absorbancia de Plomo*

Estándar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	2,500	0,009
Estándar 2	5,000	0,018
Estándar 3	7,500	0,029
Estándar 4	20,00	0,076

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 12 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.005

Tabla 13.

*Concentración y Absorbancia de Cobre*

Estándar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	1,000	0,147
Estándar 2	2,000	0,282
Estándar 3	3,000	0,381
Estándar 4	4,000	0,531

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 13 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.004

Tabla 14.

*Concentración y Absorbancia de Cadmio*

Estándar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	0,200	0,064
Estándar 2	0,600	0,194

Estándar 3	1,000	0,297
Estándar 4	1,400	0,385
Estándar 5	1,800	0,478

Continuación de la Tabla 14

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 14 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.001

Tabla 15.

*Concentración y Absorbancia de Cromo*

Estandar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	3,000	0,117
Estándar 2	4,500	0,175
Estándar 3	6,000	0,232
Estándar 4	7,500	0,280
Estándar 5	9,000	0,337

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 15 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.001

Tabla 16.

*Concentración y Absorbancia de Aluminio*

Estandar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	20,000	0,005
Estándar 2	40,000	0,011
Estándar 3	60,000	0,017
Estándar 4	80,000	0,023

Estándar 5	100,000	0,028
------------	---------	-------

Continuación de la Tabla 16  
Elaborado por: El Autor

En la Tabla 16 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.001

Tabla 17.

*Concentración y Absorbancia de Hierro*

Estandar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	2,000	0,016
Estándar 2	4,000	0,032
Estándar 3	6,000	0,047
Estándar 4	8,000	0,059
Estándar 5	10,000	0,075

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 17 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.002

Tabla 18.

*Concentración y Absorbancia de Zinc*

Estandar	Concentración (ug/ml)	Absorbancia (ug/ml)
Estándar 1	0,400	0,016
Estándar 2	0,600	0,023
Estándar 3	0,800	0,031
Estándar 4	1,000	0,039
Estándar 5	1,200	0,048

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 18 se puede observar la concentración y absorbancia para cada estándar y poder sacar la curva de calibración del metal, obteniendo así un rango de error de 0.000

Tabla 19.

*Concentración de metales pesados con el método MetilIsobutilCetona (mg/l)*

Metal	Muestra 1 (mg/l)	Muestra 2 (mg/l)	Muestra 3 (mg/l)	Muestra 4 (mg/l)	Muestra 5 (mg/l)	Promedio (mg/l)	Concentración permisible (ppm)
Pb	19,729	20,063	19,889	19,777	19,981	19,888	100
Cu	0,058	0,0465	0,0339	0,0347	0,0308	0,041	15
Cd	0,426	0,4015	0,4275	0,4115	0,3955	0,412	2
Cr	0,825	0,7717	0,78435	0,73915	0,7385	0,772	10
Al	16,213	16,640	18,5655	19,684	16,915	17,604	20
Fe	1,865	1,860	1,832	1,962	1,905	1,885	100
Zn	0,1215	ND	ND	ND	ND	0,1215	200

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 19 se observan los promedios obtenidos de los metales pesados con el método empleado metilisobutilcetona para las 5 muestras en estudio, siendo estos los metales pesados estudiados, Plomo 19,888 mg/l; Cobre 0,041 mg/l, Cadmio 0,412 mg/l; Cromo 0,772 mg/l; Aluminio 17,604 mg/l; Hierro 1,885 mg/l y Zinc 0,1215 mg/l. Estos resultados se contrastan con la referencia en donde se observan los valores obtenidos de metales pesados en aceites usados después de haber sido tratados (Vázquez, 2013), que se encuentran dentro de los límites permisibles.

#### **5.4 Determinación del color de los recobrados de motor**

El color es una característica esencial en los lubricantes ya que dependiendo de su color se puede decir que un aceite está contaminado o si sus contaminantes fueron eliminados en los procesos de destilación.

Tabla 20.

*Color de los recobrados de motor*

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1,5	2	2,5	3	4,5

*Nota:* 1.5: valor inicial aceptable para aceite usado, 2: valor aceptable para aceite usado, 2.5: valor aceptable para aceite usado, 3: valor aceptable para aceite usado, 4.5: valor aceptable para aceite usado. Clasificando al aceite como bueno.

Elaborado por: El Autor

La Tabla 20 muestra los análisis de color de los recobrados de motor realizados mediante la escala de colores demostrativos de la norma ASTM D15000, que se puede observar en la figura 5. El cambio de color se debe a la destilación que sufrió cada muestra después de haber sido combinada con las fracciones obtenidas después de la destilación, los valores obtenidos entre 1,5 a 2,5 quieren decir que las muestra eliminaron ciertos compuestos contaminantes que habrían entrado en contacto con el aceite durante su lubricación. Pero las muestras con valor 3 y 4,5 de igual manera eliminaron los compuestos contaminantes pero su tonalidad se debe a la viscosidad de las fracciones mezcladas para obtener la muestra 4 y 5. Estos resultados se contrastan con la referencia en donde se reportan los valores de los colores de las bases lubricantes parafínicas, vírgenes y refinados de acuerdo a su carga sean livianos máximo 2, medios máximo 3,5 y pesados máximo 6,5. Esta diferencia se debe a que los lubricantes fueron clasificados según su carga (Chuquí y Romero, 2017).

### **5.5 Determinación de la densidad del aceite de motor usado**

La densidad es una propiedad clave de un líquido y viene dado por la proporción de su masa particular a un volumen conocido ( $d = m / v$ ). El agua, tiene una densidad de 1.000 kg / m<sup>3</sup>, por definición. Los aceites están entre 700 kg/m<sup>3</sup> y 950 kg/m<sup>3</sup>. Esta propiedad también es utilizada en cálculos donde se involucra la viscosidad. La viscosidad es una de las propiedades más simples, pero una de las más importantes de un lubricante. La densidad juega un papel importante en las funciones del lubricante y en el desempeño de la máquina y también son un factor que rige la calidad y los precios del petróleo crudo, también afecta al almacenamiento, la manipulación y la combustión.

Tabla 21.

*Densidad de los recobrados*

Muestra 1 (g/ml)	Muestra 2 (g/ml)	Muestra 3 (g/ml)	Muestra 4 (g/ml)	Muestra 5 (g/ml)	Temperatura °C
0,844	0,842	0,894	0,842	0,855	40°
0,843	0,823	0,859	0,835	0,847	100°
0,866	0,864	0,903	0,869	0,879	Ambiente

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 21 se observan los valores promedios obtenidos en la investigación para la densidad de las muestras (M1, M2, M3, M4, M5) de los recobrados de aceites de motor teniendo como un promedio mínimo 0,842 g/ml y máximo 0,894 g/ml a temperatura de 40°C, 0,823 g/ml y 0,857 g/ml a 100° C y a temperatura ambiente con mínimo de 0,866 g/ml y máximo de 0,903 g/ml. Se observa claramente la influencia de la temperatura en cada muestra. Estos resultados fueron comparados con la referencia en donde se reportan las densidades de aceites nuevos y recuperados, obteniendo valores en kg/l siendo el más bajo 0,8659 kg/l y el más alto 0,9978 kg/l en aceites usados y 0,88 kg/l el más bajo y el más alto 0,895 kg/l en aceites nuevos, sus rangos dentro de la norma ASTM D-1298 es un mínimo de 0,600 g/ml y un máximo de 1.100 g/ml, mostrándonos que nuestros resultados están dentro de los parámetros permisibles (Fong, Quiñonez y Tejada, 2017).

### **5.6 Determinación de la acidez total de los recobrados de motor**

La determinación de la acidez es una medida de calidad importante de petróleo crudo, en el aceite de motor usado. Un aumento de la acidez total puede ser una indicación de oxidación y un aumento en el nivel de degradación del aceite, y al momento de oxidarse su viscosidad va aumentando. La norma usada es la ASTM D974 -08e1 ya que es aplicable para la determinación de ácidos y bases cuyas constantes son mayores a 9,10 muy ácidos.

Tabla 22.

*Acidez Total de los recobrados*

Acidez total (TAN) en mg de KOH/g de muestra				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
12,87	12,82	12,69	12,80	12,87

Elaborado por: El Autor

La Tabla 22 muestra los valores obtenidos en la investigación para la acidez total de las cinco muestras (M1, M2, M3, M4, M5) estudiadas de los aceites de motor obteniendo valores altos 12,87 mg de KOH/g muestra (muestras 1 y 5) y valores entre su rango 12,69 mg de KOH/g muestra (muestra 3), 12,82 mg de KOH/g muestra (muestra 2) y 12,80 mg de KOH/g muestra (muestra 4) debido a su oxidación, características de ácidos orgánicos e inorgánicos, esterés, compuestos fenólicos, lactonas, resinas, sales de metales pesados, agentes de adicción que no han sido eliminados totalmente, y la constante disociación en agua por eso sus valores son más altos a la norma establecida ASTM D974 que dice que su mínimo en ácidos es 9,10 estando los resultados dentro de los rangos permisibles. Estos resultados fueron comparados con estudios de aceites usados que han sido tratados y neutralizados dos veces obteniendo valores en su aceite usado 4,40 y 2,20 debido a las neutralizaciones realizadas para tener un pH equilibrado (Moya, 2009).

**5.7 Determinación del punto de inflamación de los aceites recuperados de motor**

El punto de inflamación es de gran importancia para los almacenajes, clasificación de sus riesgos, y para su posible aplicación (aceites para compresores o cilindros), éste se determina por la normativa ASTM D93, siendo la temperatura mínima donde desprende suficiente vapor hasta formar una mezcla inflamable con el aire.

Tabla 23.

*Punto de inflamación de los lubricantes tratados de motor*

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
PUNTO DE INFLAMACION	135°C	197°C	224°C	235°C	206°C
	124°C	195°C	231°C	248°C	225°C
Promedio	129,5°C	196°C	227,5°C	241,5°C	215,5°C

Elaborado por: El Autor

La Tabla 23 muestra los valores medios obtenidos en la investigación de las cinco muestras (M1, M2, M3, M4, M5) obteniendo un promedio mínimo 129,5°C y 196°C para las muestras 1 y 2, siendo estas menos viscosas y más fáciles de que expulsen sus gases a temperaturas no tan altas, y un promedio máximo 241,5°C para las muestras 3, 4 y 5 debido a que son muy viscosos y necesitan de una temperatura mayor para desprender el vapor, entrando dentro de los límites permisibles de acuerdo a la norma ASTM D93. Estos resultados se contrastan con la referencia en donde se reporta el punto de inflamación en °F para Aceite lubricante virgen y Aceite lubricante usado obteniendo un rango máximo de 348°F (225,33°C) para el aceite lubricante usado y para el aceite lubricante virgen no presenta un valor. Esta diferencia se debe a que el lubricante virgen tiene un valor menor al de la norma comparada ya que esta norma solo estudia la temperatura aceites con viscosidad media y alta a temperatura >90°C (Moya, 2009).

La parte experimental tuvo sus aciertos obteniendo los resultados de los recobrados del aceite de motor usado durante el transcurso de esta investigación, nos da a conocer los índices de calidad que poseen estos en cada uno de las metodologías empleadas para su caracterización y así tener una perspectiva en la que puede ser aplicada luego de un sin número de procesos. Según Moya (2009), nos da a conocer la importancia de cada uno de las características que determinan la calidad de un aceite usado después de ser tratado nuevamente hasta que salga al mercado tras su regeneración. Dentro de estas características se encuentran todas las estudiadas como viscosidad, densidad, punto de inflamación, concentración de metales pesados, poder calorífico, acidez total y color, todos estos siendo importantes para el funcionamiento de este aceite.

### **5.8 Socialización de los resultados**

La socialización de la investigación fue realizada en la sala de reuniones habilitada vía online que contó con la participación de Ingenieros en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, estudiantes egresados y docentes de la Pontifica Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra , además se contó con la participación del director de la CONSULTORIA & MEDICIONES AMBIENTALES “MEDAMBIENT” Ingeniero Ambiental Danny Fiallos, se dio a conocer el tema de investigación con los resultados preliminares del trabajo de titulación resaltando la determinación de la viscosidad, poder calorífico y concentración de metales pesados en los aceites de motor usado.

Para evaluar la relevancia de la investigación se aplicó una encuesta (Anexo 23) obteniendo los siguientes resultados: los asistentes opinaron en un 96% que el tema investigado sí poseía relevancia para la sociedad, sobre las perspectivas que posee esta investigación para estudios complementarios; posteriormente, el 92% indicó que tenía un nivel muy alto; si el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización en un 92% un nivel muy alto; y el 8% fue alto y finalmente sobre los objetivos expuestos en la investigación, el 96% muy alto y el 4% alto, las curvas de calibración se encuentran a partir del (Anexo 4).

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

- Mediante la experimentación para la determinación de calidad de aceites lubricantes usados de motor, se demostró que los valores de calidad (densidad, viscosidad, concentración de metales pesados, poder calorífico, punto de inflamación, acidez total y color), estudiados están dentro de los límites permisibles establecidos por la norma ASTM, esto ratifica que el aceite lubricante es adecuado para funcionar como combustible en hornos de cementeras y otros reduciéndose la contaminación del aire.
- Se determinaron las viscosidades de las cuatro muestras en estudio obtenidas según su punto de ebullición, se observó que la muestra cinco tiene una de 21,12 cS mayor (115,44 cS) a comparación de las tres muestras primeras (13,34, 23,23 y 70,67 cS) que por tipo de fracción tienen una viscosidad muy baja, debido al proceso de destilación reportado en estudios anteriores (Anrango,2018).
- La metodología utilizada para la determinación de metales pesados por medio del solvente isobutilmetilcetona nos proyecta resultados en Pb= 19,888 mg/l, Cu= 0.041 mg/l, Cr=0,772 mg/l, Cd= 0,412 mg/l, Al= 17,604 mg/l, Fe= 1,885 mg/l y Zn= 0,1215 mg/l; cuyos valores obtenidos entran en el límite de concentración permisible para aceites usados.
- Los valores obtenidos en la determinación del poder calorífico para las cinco muestras estudiadas, es el siguiente: (M1= 47,768 MJ/Kg, M2= 47,9986 MJ/Kg, M3= 46,56225 MJ/Kg, M4= 46,7611 MJ/Kg, M5= 46,89615 MJ/Kg) muy alta por lo que hace que los aceites lubricantes tengan un valor funcional como un combustible según la norma establecida ASTM D-240 para aceites usados de motor.
- Se determinó el color del aceite lubricante de las cinco muestras estudiadas obteniendo valores bajos (M1=1.5, M2=2, M3=2.5, M4=3, M5=4.5), por lo que se concluye que el aceite lubricante tuvo una buena eliminación de contaminantes en el proceso de destilación realizada en estudios anteriores. Sus valores estén dentro de la norma permisible ASTM D15000.

- La densidad es un parámetro de calidad importante dentro de la determinación del uso del aceite; después de haber sido tratado, obtuvimos valores bajos, entre ellos promedio mínimo de 0,842 g/ml y máximo de 0,894 g/ml a temperatura de 40°C, 0,823 g/ml y 0,857 g/ml a 100° C y a temperatura ambiente con mínimo de 0,866 g/ml y máximo 0,903 g/ml, entrando dentro de los rangos permisibles en aceites usados tratados, permitiendo que nuestros aceites funcionen como combustible de cementeras y cal, en hornos de ladrillos u hornos metalúrgicos, debido a las altas temperaturas de combustión.
- La determinación del punto de inflamación es un índice importante debido a que tiene una relación con la viscosidad, los resultados promedios obtenidos fueron para las muestras 1 (129,5°C), 2 (196°C), 3 (227,5°C), 4 (241,5°C) y 5 (215,5°C) entrando dentro de los rangos permisibles en aceites usados tratados que tiene un máximo de 225,33°C, haciendo que el aceite se pueda usar como combustible de cementeras.
- En la determinación de acidez total de los recobrados, se obtuvo un TAN similar entre las diferentes muestras con valores para las muestras 1(12,87 mg de KOH/g muestra), 2 (12,82 mg de KOH/g muestra), 3 (12,69 mg de KOH/g muestra), 4 (12,80 mg de KOH/g muestra) y 5 (12,87 mg de KOH/g muestra) no entrando en los límites permisibles. Estos valores se deben a la falta de neutralización del aceite, ésteres, compuestos fenólicos, sales de metales pesados y la característica acida de ácidos orgánicos e inorgánicos.
- En base a los resultados obtenidos de la socialización, se puede concluir que los asistentes dieron una relevancia muy alta al trabajo de Investigación, que el tema genera actualmente y a futuro un beneficio para las entidades públicas, cumpliendo los objetivos propuestos.

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

- Es recomendable que para realizar los análisis de calidad de aceites como es la viscosidad sea necesario el reciclaje de los aceites según su tipo de uso y motor, kilometraje como también el tipo de aceite que utilizan, debido a que en esta investigación se recolectó el aceite de una lubricadora de la que se desconocía la procedencia del lubricante.
- Es necesario dar continuidad a la investigación debido a la gran importancia que se atribuye en la recuperación de los aceites quemados de motor, así sus fracciones obtenidas por medio de los tratamientos realizados.
- El aceite recuperado se puede utilizar para el mismo fin, es decir, para la lubricación automotriz, esto mediante la adición de aditivos complementarios de tal manera que se mejore las características del lubricante según sea su uso.
- El empleo del aceite usado como combustible alternativo es válido si se efectúan los tratamientos físico-químicos necesarios para desclasificarlo como residuo tóxico y peligroso.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1996). *Manejando Aceite Usado – Consejos para Empresas Pequeñas*. Estados Unidos
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ToxFAQs). (1997). *Aceite usado de motor*. Recuperado de: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts102.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts102.pdf)
- Álvarez, J. (2013). *Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio* (tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., México.
- Álvarez, A., Cortés, E. y Álvarez, F. (1998). *Criterios para la selección y aplicación de lubricantes*. Medellín: UNAL
- Andrade, C. (2015). *Propuesta de un plan de manejo sustentable de los aceites usados provenientes de los talleres automotrices y lubricadoras del Catón Cañar* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, Cuenca, Ecuador.
- Anrango, C. (2018). *Análisis por espectroscopia IR-FT de los recobrados de aceite quemado de motor y alternativa de utilización* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra, Ecuador.
- Arias, M.J. (2013). *Evaluación de las condiciones físico-químicas del aceite lubricante quemado de los motores a diésel de los buses de transporte urbano en la ciudad de Quito* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Barrera, L. y Velecela, F. (2015). *Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el gobierno autónomo descentralizado del Cantón Azogues* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

- Beltrán, A. y Guerrero, Y. (2018). *Elaboración de manual y procedimientos de la bomba calorimétrica PARR 6300 de la Universidad de la Salle para la determinación del poder calorífico de muestras solidas de interés* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Cabrera, J. (2018). *Elaboración de un diagnóstico de la gestión de aceites automotrices usados generados en lubricadoras y estaciones de servicio para el planteamiento de una propuesta de manejo adecuado ciudad de Quevedo, provincia de los Ríos – 2016* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.
- Chiran, A. (2017). *Producción de bases minerales con tecnología Sener a partir del aceite usado de motor a gasolina, a escala de laboratorio, en el cantón Antonio Ante, ciudad de Atuntaqui* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ibarra, Ecuador.
- Chuqui, M. y Romero, J. (2017). *Propuesta de implementación de una planta de regeneración de aceites lubricantes usados en la ciudad de Cuenca empleando el proceso de extracción con propano* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Delgado, J., (2006). *Sistemas de lubricación a bordo* (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Dino, S., (16 de octubre, 2000). Degradación del aceite – Un problema que existe. Recuperado de: <https://www.patriotpower-mpc.com/new/pdf/informes-tecnicos/mod-oct/informe7.pdf>
- Fernando, D; Fernando L. y Rene, D. (2011). *Análisis técnico de la vida útil de un lubricante de aceite mineral, para motores de combustión interna a gasolina de los vehículos de servicio de taxis de la ciudad de Cuenca* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Fennell, G. (1992). Degradacion del aceite, un problema que si existe. Recuperado de: <https://www.patriotpower-mpc.com/new/pdf/informes-tecnicos/mod-oct/informe7.pdf>

- Fong, W., Quiñonez, E. “y” Tejada, C., (2017). Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje. *ResearchGate*. 15(2), 135-144.
- Galarza, J. (2017). *Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora caterpillar 390FL de Stracon GYM-Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- García, R. (2001). Combustión y combustibles. *Combustion*. Recuperado de: <http://kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>.
- González, F., (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*, 2da ed. España: Fundación Confemetal. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?isbn=8496169499>
- Jaramillo, D., Redrován, L. y Urgilés, D. (2011). *Análisis técnico de la vida útil de un lubricante de aceite mineral, para motores de combustión interna a gasolina de los vehículos de servicios de taxis de la ciudad de Cuenca* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Jimenez, M. (2011). *Análisis de metales en aceites lubricantes automotrices usados por espectroscopia de absorción atómica* (tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, México.
- Jones, J. (2007). *Diseño de un sistema de reciclaje de aceite lubricante usado* (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Centro Coordinador del Convenio de Bailea para América Latina y el Caribe. (2005). *Guía para la gestión Integral de Residuos Peligrosos*, Tomo I. Montevideo, Uruguay.
- Leal, B.(2014). *Metodología para la caracterización de aceites usados en aviación basada en técnicas espectroscópicas* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Monterroso, A. (2012). *Definición de las características de aceites lubricantes usados para que puedan utilizarse en un proceso de valorización energética, como método para*

- su eliminación en busca de minimizar la contaminación ambiental* (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Moya, L. (2009). *Desde el aceite lubricante usado hasta su puesta en el mercado tras su regeneración* (tesis de maestría). Escuela de organización industrial, Madrid, España.
- Llanos, F., (2013). *Propuesta para el manejo del aceite usado de vehículos automotrices en el cantón Sigsig* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Lopez, R., (2017). *Valoración energética de meclas de aceite lubricante usado con otros combustibles* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Pozo, Y. (2016). *Ordenanza Municipal para el manejo ambiental adecuado de aceites y grasas lubricantes y/o solventes hidrocarburos saturados* (tesis de pregrado). Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES, Ibarra, Ecuador.
- Peñañiel, S. (2017). *Caracterización del manejo de aceites de desecho de automóviles e hidráulicos de origen industrial en la ciudad de Cuenca* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Rodriguez, J., Suárez, L., López, A. & Hernández, P. (2006). Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados. Bogotá: Digital Express
- Sierra, E. T. (1993). NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 11. Recuperado de: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp\\_379.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_379.pdf)
- Siguencia, C. (2013). *Análisis técnico económico para la obtención de aceite mineral base de calidad mediante el método del solvente* (tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- Suntaxi, J. (2012). *Propuesta para el manejo de fluidos contaminantes de un taller automotriz en el sector sur del distrito metropolitano de Quito* (tesis de pregrados). Escuela politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador.

- Terradillos, J. (sf Marzo, 2004). Todo sobre la lubricacion de las turbinas y su mantenimiento a traves del analisis del aceite. Wearcheck Iberica. Recuperado de: [http://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/An%C3%A1lisis\\_aceite\\_turbinas\\_ES.pdf](http://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/An%C3%A1lisis_aceite_turbinas_ES.pdf).
- Torres, P. (2014). *Diseño de un plan de recoleccion y el re.finamiento de los aceites lubricantes usados en la ciudad de Loja* (tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Tormos, B., (2005). *Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado*. España-Barcelona: REVERTÉ.
- Vázquez Guillén, J. J. (2013). *Gestión integral del aceite automotor reciclable en Cuenca* (tesis de maestría). Universidad de Cuenca,Cuenca, Ecuador.
- Widman, R. (23 de mayo, 2000). *Introducción Viscosidad*, Recuperado de: [http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/physical-properties/es/Intro\\_Viscosidad.pdf](http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/physical-properties/es/Intro_Viscosidad.pdf)

## ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos de la determinación de calidad del aceite de motor usado; viscosidad, poder calorífico, metales pesados, color, densidad, acidez total, punto de inflamación.

	Temperatura	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Viscosidad dinámica	40 °C (Centistokes Cs)	-----	13,34	23,23	70,67	115,44
	100°C (Centistokes Cs)	-----	5,71	6,95	14,49	21,12

	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Poder calorífico	Cal/g	11409,208	11464,273	11121,919	11168,735	11200,949
	MJ/Kg	47,768	47,998	46,565	46,761	4,896

	Metal	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Concentración de metales pesados	Pb	19,729	20,063	19,889	19,777	19,981
	Cu	0,058	0,0465	0,0339	0,0347	0,0308
	Cd	0,426	0,4015	0,4275	0,4115	0,3955
	Cr	0,825	0,7717	0,78435	0,73915	0,7385
	Al	16,213	16,640	18,5655	19,684	16,915
	Fe	1,865	1,860	1,832	1,962	1,905
	Zn	0,1215	ND	ND	ND	ND

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Color	1,5	2	2,5	3	4,5

	Temperatura	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Densidad	40° C (g/ml)	0,844	0,842	0,894	0,842	0,855
	100° C (g/ml)	0,843	0,823	0,859	0,835	0,847
	Ambiente (g/ml)	0,866	0,864	0,903	0,869	0,879

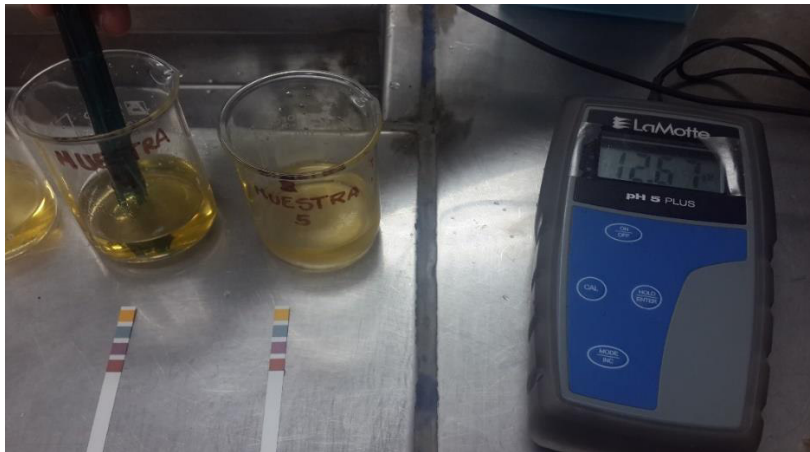
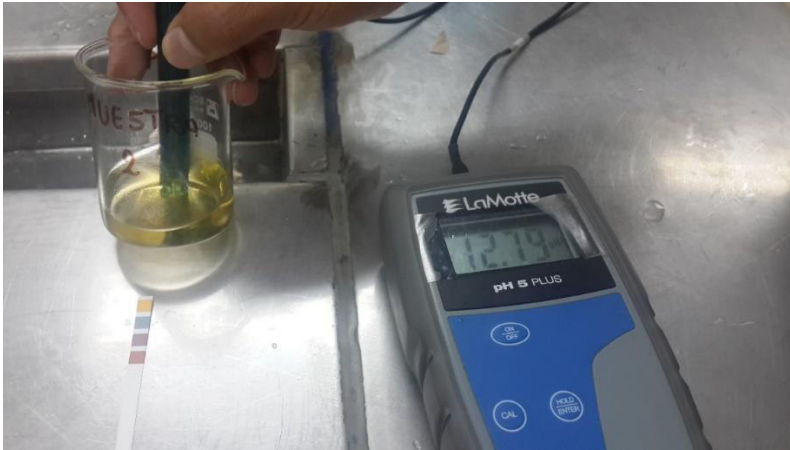
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Acidez total	KOH/g muestra	12,87	12,82	12,69	12,80	12,87

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Punto de inflamación °C	129,5°C	196°C	227,5°C	241,5°C	215,5°C

Continuación del Anexo 1  
Elaborado por: El Autor

## Anexo 2. Determinación de pH de las muestras de aceite de motor usado

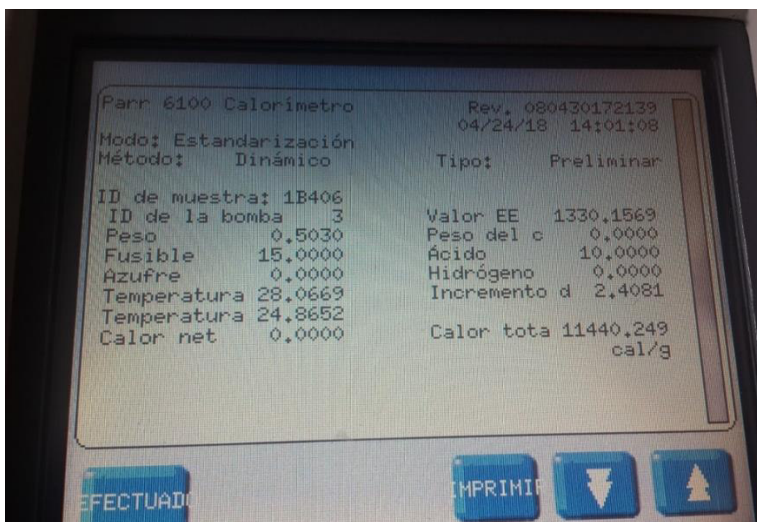
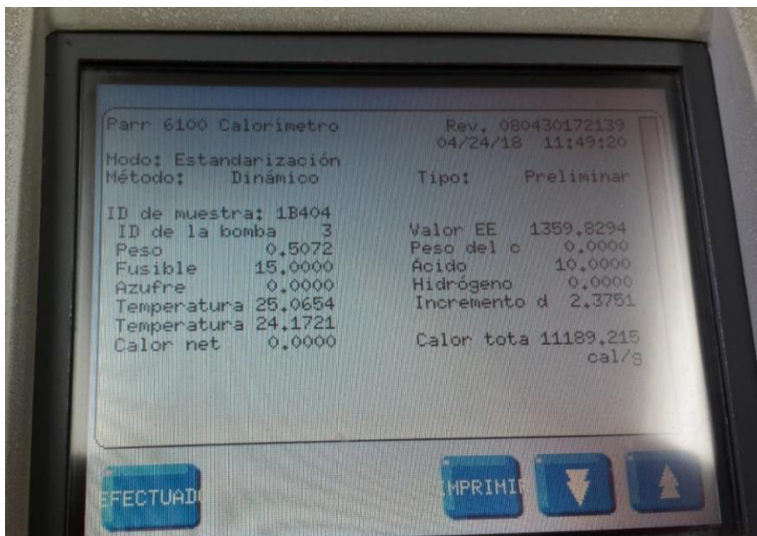


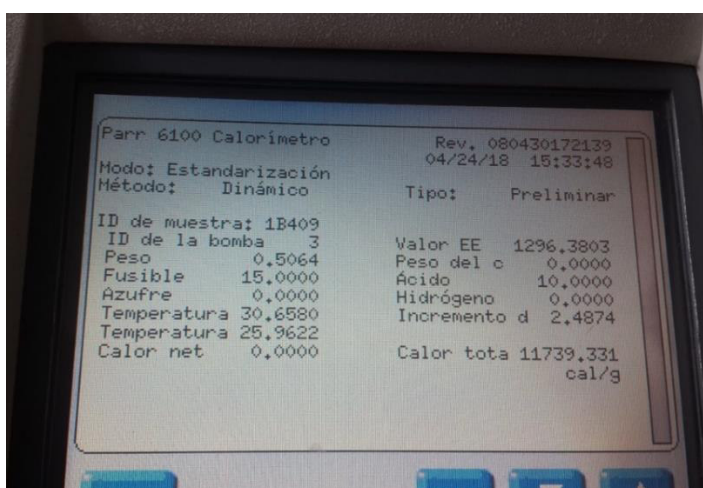
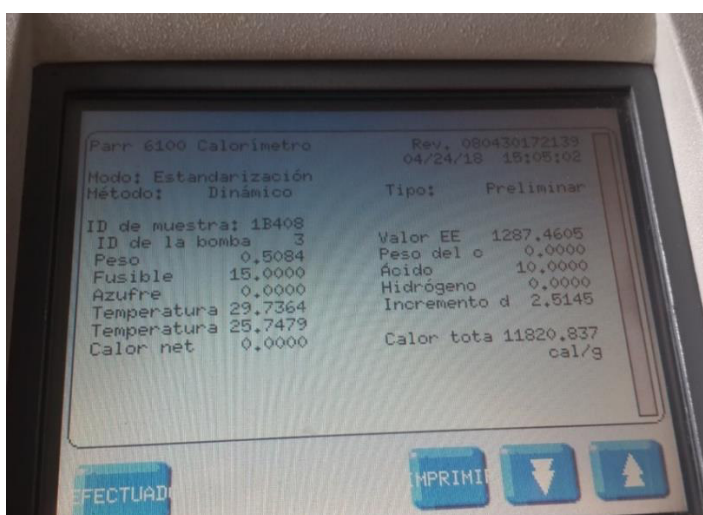
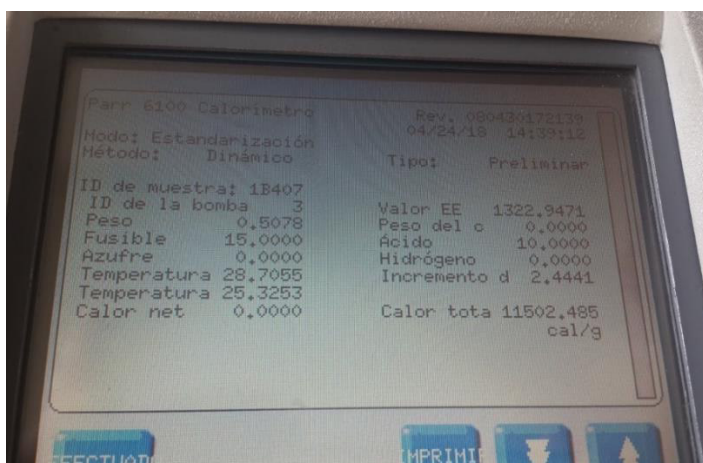




Continuación del anexo 2  
Elaborado por: El Autor

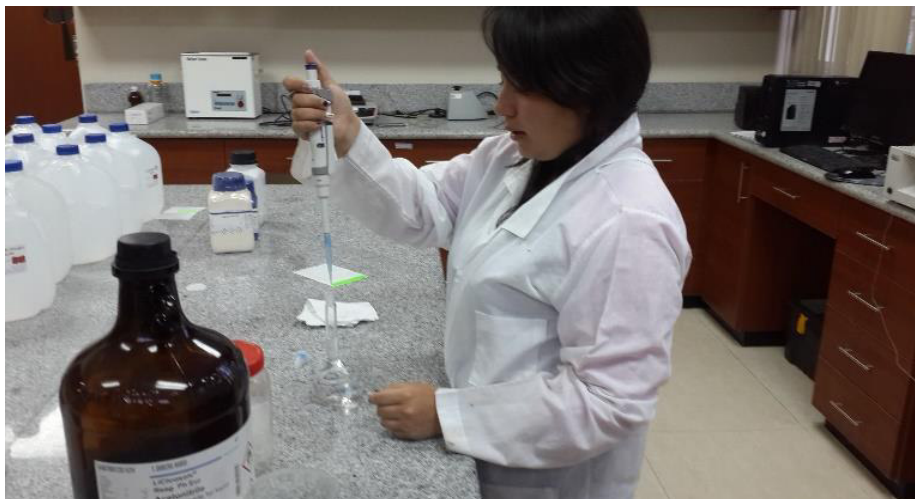
### Anexo 3. Determinación del poder calorífico de las muestras de aceite





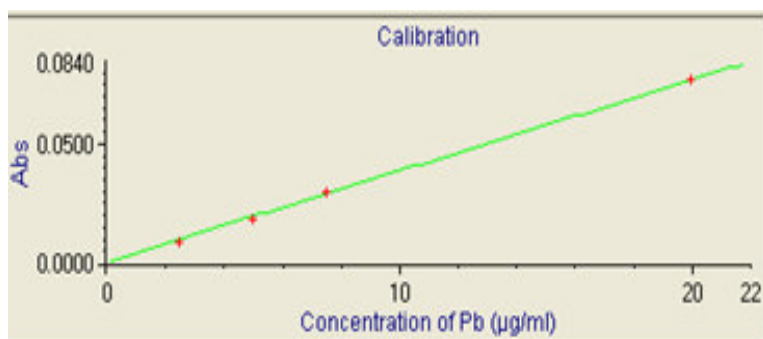
Continuación del anexo 3  
Elaborado por: El Autor

#### Anexo 4. Preparación de los estándares



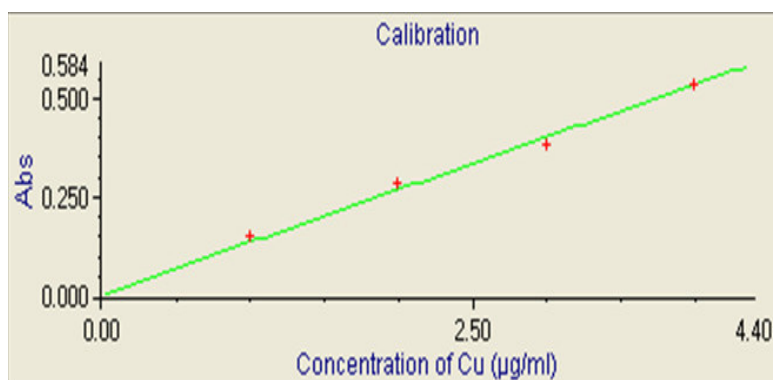
Elaborado por: El Autor

#### Anexo 5. Curva de calibración de Plomo



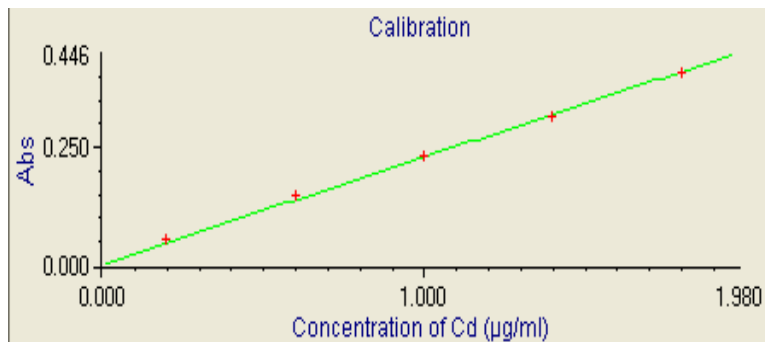
Elaborado por: El Autor

#### Anexo 6. Curva de calibración de Cobre



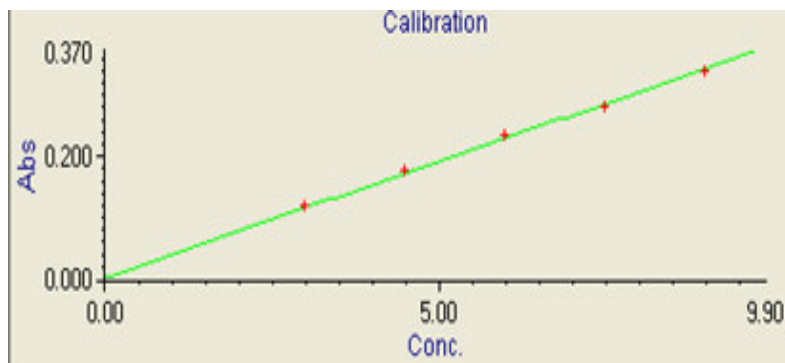
Elaborado por: El Autor

### Anexo 7. Curva de calibración de Cadmio



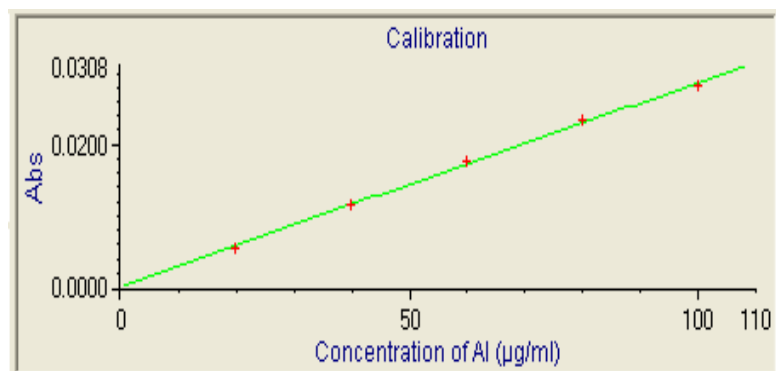
Elaborado por: El Autor

### Anexo 8. Curva de calibración de Cromo



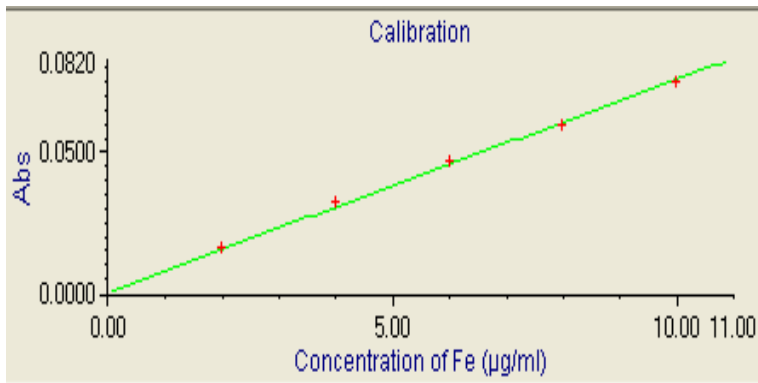
Elaborado por: El Autor

### Anexo 9. Curva de calibración de Aluminio



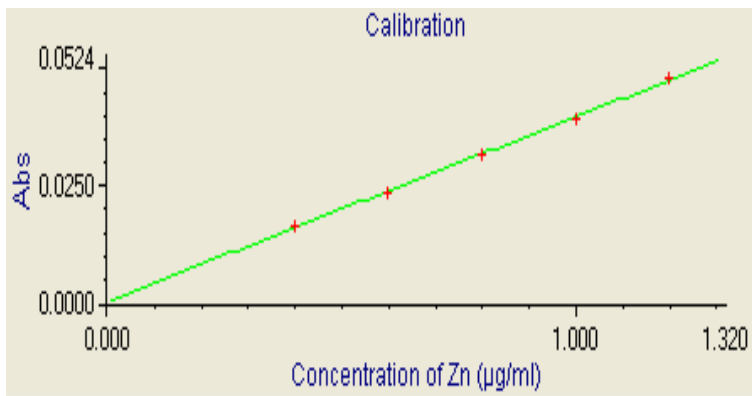
Elaborado por: El Autor

### Anexo 10. Curva de calibración de Hierro



Elaborado por: El Autor

### Anexo 11. Curva de calibración de Zinc



Elaborado por: El Autor

### Anexo 12. Separación del aceite con el agua destilada



Elaborado por: El Autor

### Anexo 13. Peso de la muestra de aceite para titular



Elaborado por: El Autor

### Anexo 14. Calcinación de la muestra de aceite después de realizar el poder calorífico



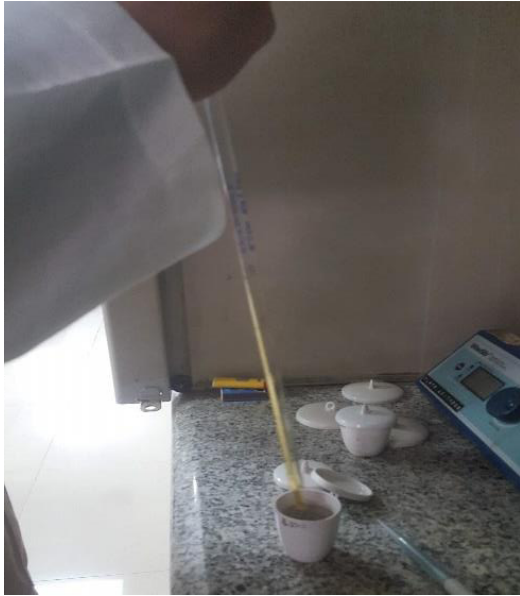
Elaborado por: El Autor

### Anexo 15. Medición del poder calorífico de las muestras de aceites



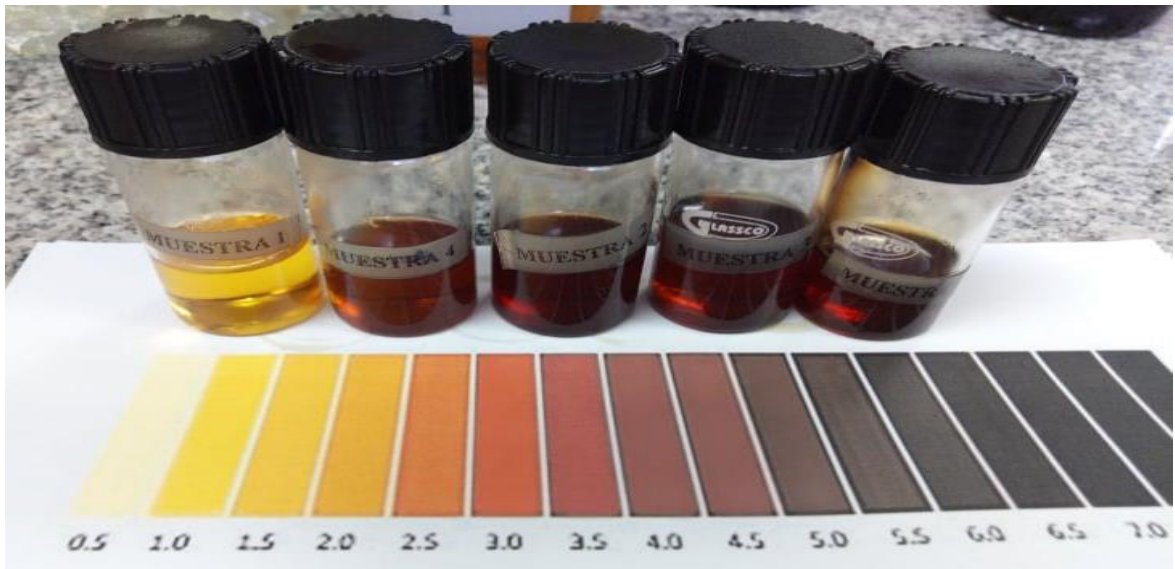
Elaborado por: El Autor

## Anexo 16. Medición del punto de ebullición



Elaborado por: El Autor

## Anexo 17. Determinación del color de los recobrados de motor



Elaborado por: El Autor

### Anexo 18. Muestras del aceite usado después de su tratamiento



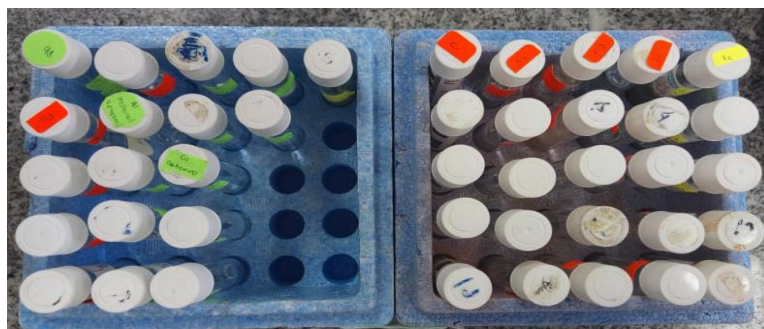
Elaborado por: El Autor

### Anexo 19. Standares de metales pesados



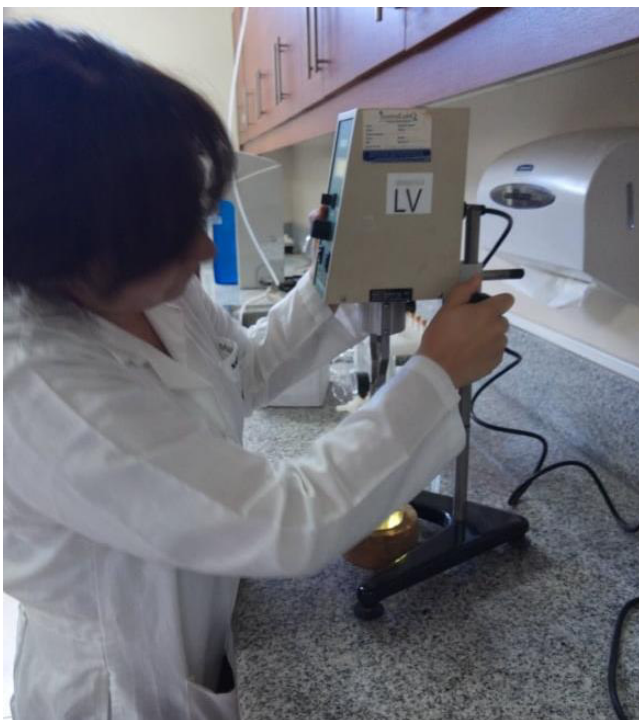
Elaborado por: El Autor

### Anexo 20. Tubos de ensayo de las muestras de aceites de acuerdo a su metal



Elaborado por: El Autor

Anexo 21. Determinación de la viscosidad del aceite de motor



Elaborado por: El Autor

## Anexo 22. Traspaso del aceite de motor a un vaso precipitado



Elaborado por: El Autor

## Anexo 23. Formato de encuesta para la socialización del tema de investigación

Progrmas Respuestas 23

### Encuesta de Satisfacción de Socialización

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigación, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias.

NOTA (IMPORTANTE): Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:  
5: Muy alto/ 4: Alto / 3: Medio / 2: Bajo / 1: Nulo

#### ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN

Descripción (opcional)

1\_¿Considera Usted que los medios utilizados para el desarrollo de este evento brindó las comodidades necesarias? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

2\_¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

#### EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR

3\_¿Considera Usted que el expositor mostro dominio del tema? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

4\_¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

5\_¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN

6.¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

7.¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

8.¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa política o privada, comunidad o institución? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

9.¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que estos se cumplieron? \*

1  
 2  
 3  
 4  
 5

Realice un comentario o sugerencia para los organizadores de este evento \*

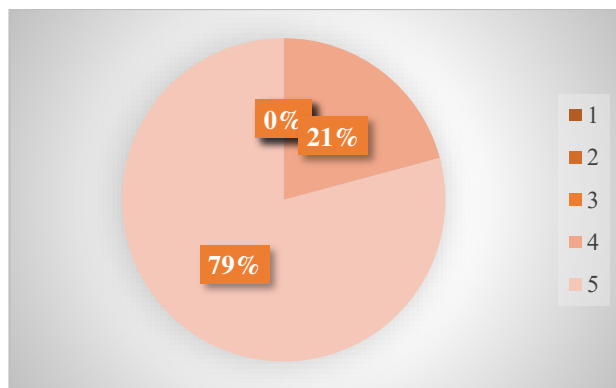
Tu respuesta \_\_\_\_\_

Continuación del Anexo 23  
 Elaborado por: El Autor

#### Anexo 24. Datos estadísticos de la encuesta de socialización de la investigación

1. ¿Considera usted que los medios para el desarrollo de este evento brindó las comodidades necesarias?

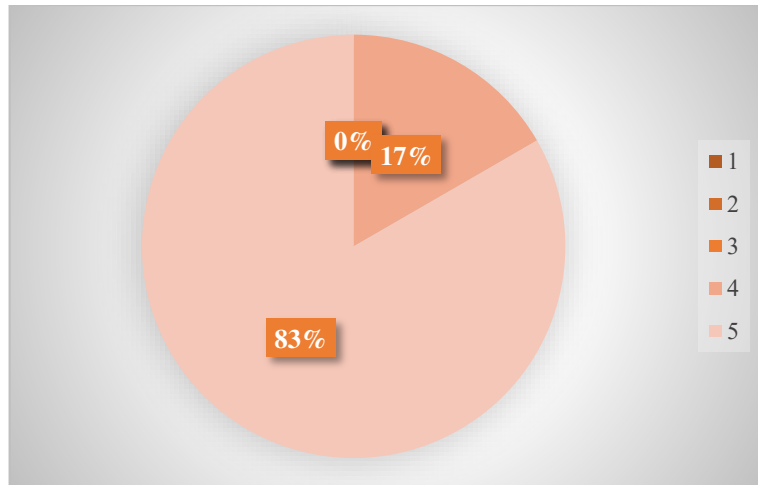
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



Los asistentes consideran que el evento brindó las comodidades necesarias para socializar el tema de investigación.

2. ¿Considera usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?

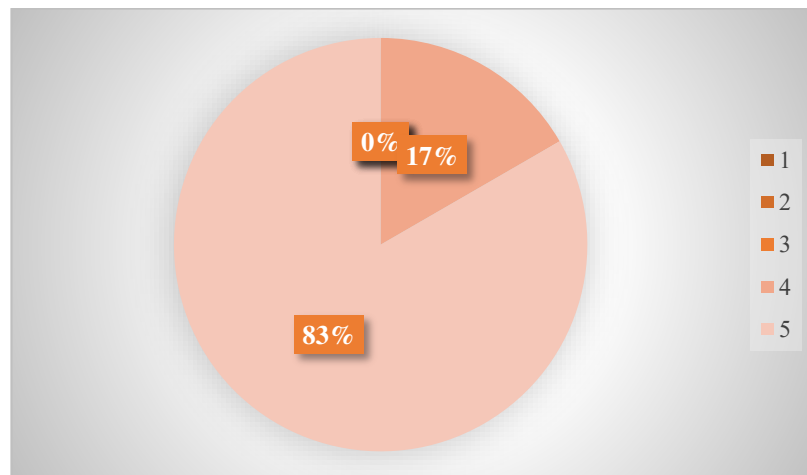
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



Los asistentes consideran que el material audiovisual utilizado fue el adecuado.

3. ¿Considera usted que el expositor mostro dominio del tema?

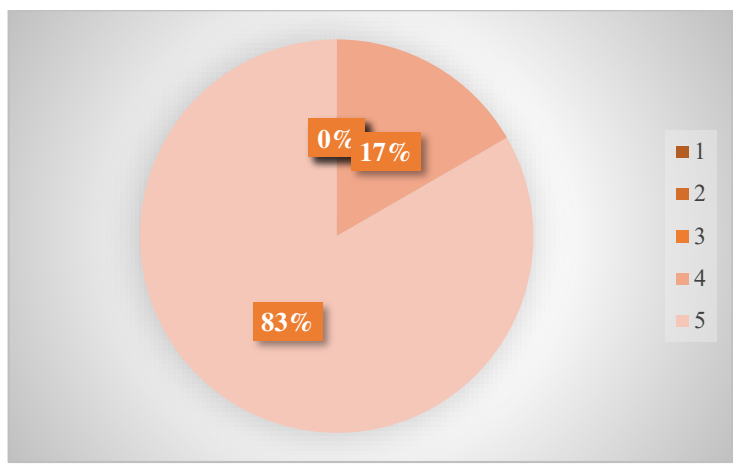
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



El 83% de los participantes consideran que el expositor mostro un dominio del tema, y el 17% considero que existió un dominio de tema alto.

4. ¿Estima usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?

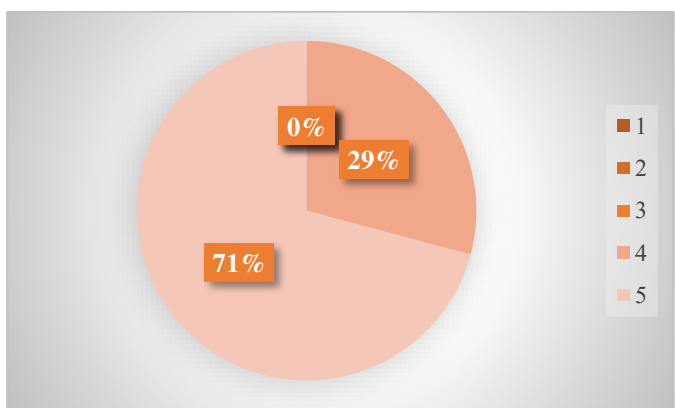
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



El 83% de los participantes estimó que el expositor tuvo un manejo adecuado con el auditorio a un nivel muy alto, y el 17% consideró un nivel alto dicho manejo por parte del expositor.

5. ¿Considera usted que el expositor demostró facilidad de expresión?

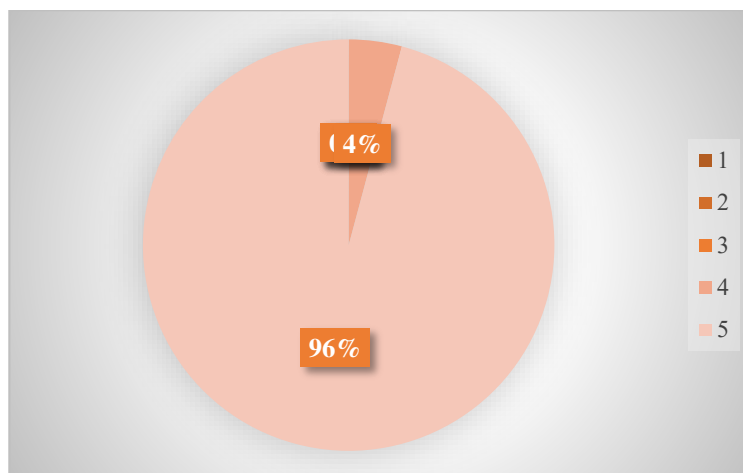
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



El 71% de los participantes consideran que el expositor demostró facilidad de expresión a un nivel muy alto, y el 29% a un nivel alto.

6. ¿Considera usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?

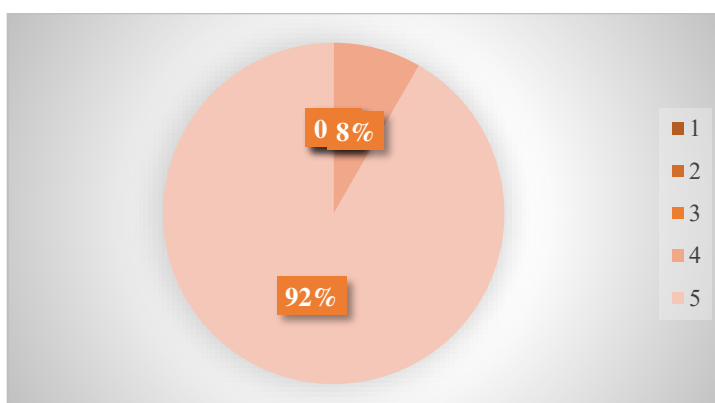
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



El 96% de los participantes consideran que el tema investigado posee una relevancia para la sociedad.

7. ¿Considera usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?

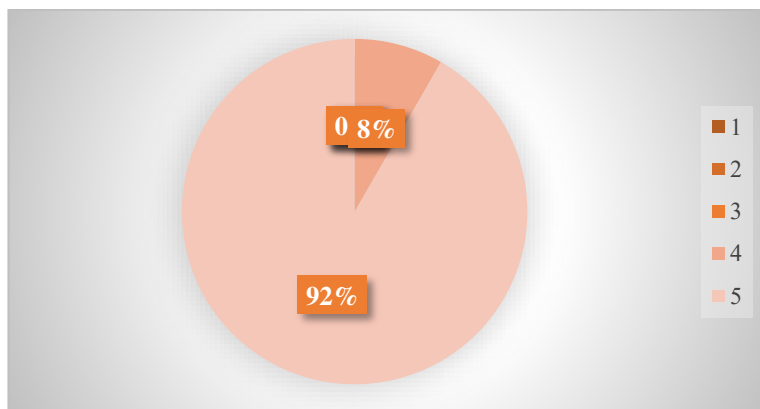
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



El 92% de los participantes consideran que la investigación posee perspectivas muy altas para estudios complementarios posteriores, y solo el 8% una perspectiva alta.

8. ¿Considera usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa política o privada, comunidad o institución?

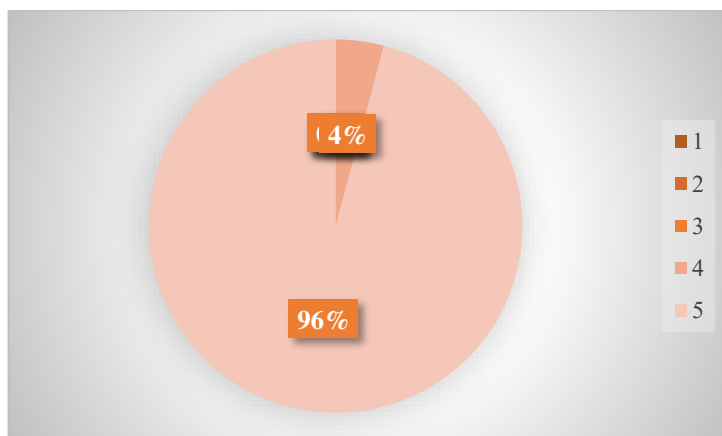
1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



Los asistentes en general consideran que el tema investigado genera un beneficio concreto para alguna entidad o empresa pública y privada.

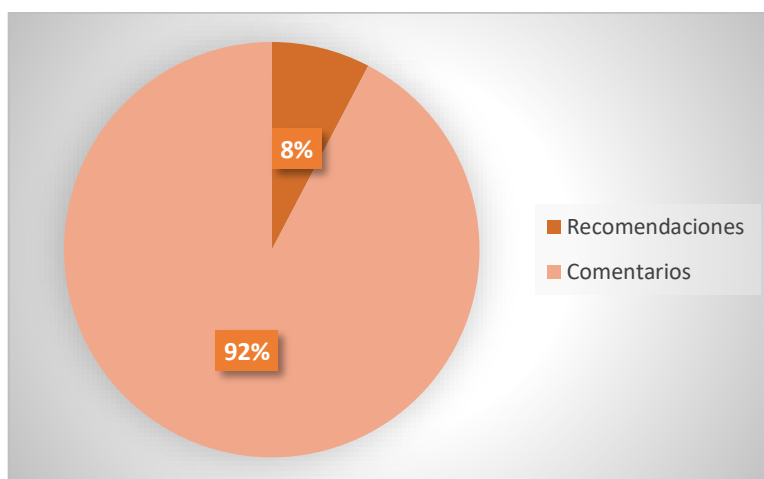
9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que estos se cumplieron?

1. Nulo / 2. Bajo / 3. Medio / 4. Alto / 5. Muy alto



Los asistentes consideran en un 96% que los objetivos planteados en la investigación se cumplieron.

10. Realice un comentario o sugerencia para los organizadores de este evento



Los participantes consideraron en un 92% comentarios de felicitaciones y dar una continuidad al proyecto, y el 8% dieron recomendaciones en cuanto a los medios de informáticos.

Anexo 25. Listado de asistencia a la socialización del tema de investigación




LISTA DE ASISTENCIA A LA SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

NOMBRE DEL EXPOSITOR: Nadia Sabina Susaeta Gudiño  
CARRERA: Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo  
FECHA: 16 de abril del 2021

NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCIÓN A LA QUE REPRESENTA
Moraima Méza	1001743721	PUCESI
Karol Echeverría	1003843271	PUCESI
Rubén del Toro	1757544471	PUCESI
Alexis Aldas	1003292446	PUCESI
Danny Fallas	1600512170	Medambiente
Mayra Pinada	1003818323	PUCESI
Vanessa Fuentes	1004561070	PUCESI
Erick Boumedián	1003984109	PUCESI
Graciela Narango	2100925292	PUCESI
Paola Haro	1004158059	PUCESI
Karen Carvajal	1005027675	PUCESI
María Paz Moncayo	1724814254	PUCESI
Karla Pérez	1727465971	PUCESI
Joselyn Davila	1003840970	PUCESI
Karla Rosero	1715593297	UTE
Belen Alarcón	1004020804	PUCE
Joel Eraso	1003829965	PUCESI
Sayri Gómez	1003530381	UTN
Johanna Mayuzza	1724492853	PUCESI
Katherine Chisquillo	1003433818	PUCESI
Marcelo Narvaez	0401781802	PUCESI
Roseline Cordova	1004302137	PUCESI
Joselyn Bricado	1716056678	ESPE
Patricio Ruales	1709989055	GOBIERNO PROVINCIAL DE IMBABURA

Elaborado por: El Autor

## Anexo 26. Invitación para la socialización



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA**  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

Le extienden la más cordial Invitación a la socialización del trabajo de investigación:  
**“Análisis de metales pesados de los aceites recuperados de motor (aceites quemados) para la determinación de su calidad”**  
cuyo autor es la señorita Nadia Sabina Suasti Gudiño, de la carrera de Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Fecha: 16 de abril del 2021  
Lugar: [meet.google.com/isv-esso-ari](https://meet.google.com/isv-esso-ari)  
Hora: 11:00 am

**RESUMEN**  
El trabajo de investigación que se presenta, muestra una de las formas en las que se puede abordar el problema de la contaminación que provocan los aceites quemados de motor en el ambiente, al ser recuperados con la finalidad de reutilizarlos como combustible y para la regeneración del aceite lubricante. Con este fin se analizan en el aceite recuperado por destilación fraccionada, los parámetros físicos y químicos de sus propiedades para confirmar si estas permiten su reutilización en la generación de nuevos aceites de motor o en su uso como combustible en grupos electrógenos, generación de energía en ladrilleras, fábricas de cemento e inclusive en transporte automotor, evitando así la contaminación del medio ambiente por su mal manejo y uso insostenible e incontrolado. Los resultados obtenidos (densidad, viscosidad, metales pesados, poder calórico y otros) demuestran, al ser comparados con las normas ASTM su posible uso para los fines considerados.

Elaborado por: El Autor

## Anexo 27. Socialización Virtual





**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

**“Análisis de metales pesados de los aceites  
recuperados de motor (aceites quemados) para la  
determinación de su calidad.”**

Autor: Nadia Suasti  
Asesor: Ph.D. Rubén del Toro Déniz  
Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.  
e-mail: [nssuasti@pucesi.edu.ec](mailto:nssuasti@pucesi.edu.ec)



Tú



Danny Fiallos



VANESSA LISETH FU...



NADIA SABINA SUAS...



Moraima Cristina ...



Ricardo Aldás



MAYRA PATRICIA PIN...



KAREN GEOVANNA C...



PAOLA ROSALIA HAR...

79