



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Mecánica Automotriz**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE  
ACEITE MINERAL BASE DE CALIDAD MEDIANTE EL MÉTODO  
DEL SOLVENTE**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz**

**Autor**

Cristian Gonzalo Sigüencia Carrillo

**Director**

Juan Rodrigo Calderón Machuca

**Cuenca – Ecuador**

**2013**

### **Dedicatoria**

A Dios por darme la oportunidad de disfrutar, a mis padres por hacer este sentimiento se plasme en mis hijos Cristina, Josué e Ignacio, el esfuerzo que se realiza en la vida tiene sus recompensas, una de ellas es la felicidad de ustedes, los amo y a mi esposa aun más cada día.

### **Agradecimiento**

El más sincero agradecimiento a la Universidad del Azuay, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión. No puedo olvidarme de todas las personas que colaboraron en cada uno de los pasos del presente trabajo, a Ing. Fabián Carrión, Ing. Jamil Jaramillo, Ing. Juan Pineda, Dra. Elsa Cardenas, Ing. Francisco Gordillo, gracias por el apoyo brindado..

## Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xi
Índice de anexos	xiv
Resumen	xv
Abstract	xvi
Introducción	1

### CAPITULO 1: ACEITE LUBRICANTE

1.1.	Generalidades	3
1.1.1.	Historia de los aceites	3
1.1.2.	Componentes del aceite lubricante	4
1.1.2.1.	Aditivos de los aceites lubricantes	5
1.1.2.1.1.	Antioxidantes	5
1.1.2.1.2.	Aditivos protectores contra la corrosión	5
1.1.2.1.3.	Aditivos antiespumantes	5
1.1.2.1.4.	Aditivos con un efecto polar	6
1.1.2.1.5.	Aditivos EP activos	6
1.1.2.1.6.	Aditivos sólidos	6
1.1.2.1.7.	Aditivos detergentes HD	7

1.1.3.	Aplicaciones del aceite lubricante	7
1.1.4.	Consumo del aceite lubricante	7
1.1.5.	Clasificación de los aceites	8
1.1.5.1.	Clasificación por el tipo de servicio	8
1.1.5.2.	Clasificación por su grado de viscosidad	12
1.2.	Aceites lubricantes usados	14
1.2.1	Modificaciones del aceite lubricante por el uso	14
1.2.2.	Viscosidad del aceite lubricante usado	15
1.2.3.	Impacto ambiental del aceite lubricante usado	16
1.2.3.1.	Aire	16
1.2.3.2.	Agua	20
1.2.3.3.	Suelo	20
1.2.3.4.	Seres humanos	21
1.2.4.	Disposición final del aceite lubricante usado.	24

## **CAPITULO 2: MÉTODO ÁCIDO-ARCILLOSO**

2.1.	Proceso actual	27
2.1.1.	Recolección del aceite lubricante usado	27
2.1.2.	Sección de destilación	27
2.1.3.	Sección de tratamiento químico	31
2.1.4.	Sección de clarificación- filtración	35
2.1.5.	Proceso de regeneración.	39
2.2.	Evaluación del aceite usado	40
2.2.1.	Aceite usado	41

2.2.1.1.	Viscosidad cinemática	42
2.2.1.2.	Metales pesados cromo, plomo, cadmio, zinc	42
2.2.2	Evaluación del aceite regenerado	42
2.2.2.1.	Viscosidad cinemática	43
2.2.2.2.	Índice de viscosidad	43
2.2.2.3.	Punto de infamación	43
2.2.2.4.	Punto de vértigo	44
2.2.2.5.	Color ASTM	44
2.2.2.6.	Contenido de cenizas	45
2.2.2.7.	Contenido de agua	45
2.2.2.8.	Policíclicos aromáticos	45
2.2.2.9.	Metales pesados cromo, plomo, cadmio, zinc	46
2.3.	Residuos y productos de la regeneración.	47
2.4.	Costo de la regeneración del aceite usado	48
2.5.	Análisis de la base aceitosa obtenida (prueba de laboratorio)	49
2.6.	Análisis de residuos	52
2.6.1.	Metales pesados	52
2.6.1.1.	Lodo ácido	52
2.6.1.2.	Lodo arcilloso	53
2.6.2.	Evaluación de residuos sólidos	53
 <b>CAPITULO 3: MÉTODO DEL SOLVENTE</b>		
3.1.	Proceso de regeneración, fundamentos	55
3.2.	Preparación de la materia prima para la regeneración	56

3.3.	Extracción de la base aceitosa mediante el método del solvente, en	62
3.4.	Recuperación del solvente	68
3.5.	Evaluación base aceitosa	75
3.5.1.	Viscosidad	78
3.5.2.	Metales pesados cromo, plomo, cadmio, zinc	78
3.6.	Evaluación residuos	79
3.6.1.	Metales pesados cromo, plomo, cadmio, zinc	79
3.7.	Evaluación de rendimientos y costos del proceso	80

#### **CAPITULO 4: COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA**

4.1.	Comparación de la base aceitosa obtenida a través del método	89
4.2.	Comparación de los residuos obtenidos a través del método acido	92
4.3.	Análisis técnico económico de la regeneración de aceite usado	93
	Conclusiones	95
	Recomendaciones	97
	Bibliografía	98
	Anexos	104

**Índice de Figuras**

Figura 2.1.	Diagrama de flujo de reciclaje de aceite por el método ácido arcilloso	26
Figura 2.2.	Tanque de almacenamiento de aceite usado.	28
Figura 2.3.	Horno de fraccionamiento y quemador de diesel.	28
Figura 2.4.	Columna de destilación flash	29
Figura 2.5.	Tanque de almacenamiento de residuo.	29
Figura 2.6.	Intercambiador de condensación	30
Figura 2.7.	Acumulador de condensado	30
Figura 2.8.	Bombas y tableros de control.	31
Figura 2.9.	Tanque de enfriamiento	32
Figura 2.10.	Intercambiador de enfriamiento	32
Figura 2.11.	Tanque de almacenamiento químico	33
Figura 2.12.	Reactores químicos	33
Figura 2.13.	Bomba de agua	34
Figura 2.14.	Bomba de recirculación de aceite	34
Figura 2.15.	Compresor de frío	35
Figura 2.16.	Horno de fraccionamiento y quemador de diesel	35
Figura 2.17.	Tanque de productos limpios	36
Figura 2.18.	Bomba para clarificación de aceite	36
Figura 2.19.	Bomba para filtro prensa	37
Figura 2.20.	Filtro prensa	37
Figura 2.21.	Reactores de clarificación	38
Figura 2.22.	Carretilla de acero inoxidable	38

Figura 2.23.	Tanque para aceite filtrado	39
Figura 3.1.	Recipiente que contiene 2 galones de aceite recolectado	56
Figura 3.2.	Diagrama de flujo de reciclaje de aceite por el método del solvente	57
Figura 3.3	Materiales de laboratorio	62
Figura 3.4.	Procedencia del aceite lubricante usado	62
Figura 3.5.	Reacción del aceite usado con el solvente	63
Figura 3.6.	Peso de 500ml de Aceite Usado	65
Figura 3.7.	Peso de 700ml de n-Hexano	66
Figura 3.8.	Peso de 640 ml de 2-Propanol	66
Figura 3.9.	Peso de 160 ml de 1-Butanol	66
Figura 3.10.	Batido de la mezcla por 15 minutos	67
Figura 3.11.	Mezcla solventes aceite usado, en depósito cónico	67
Figura 3.12.	Peso del vaso usado para mezclar, con residuos	68
Figura 3.13.	Peso del vaso sin residuos	68
Figura 3.14.	Peso de aceite-solvente 1000 ml después de 24 horas	69
Figura 3.15.	Solvente adherido a jarra	69
Figura 3.16.	Peso de aceite-solvente 880ml después de 24 horas	70
Figura 3.17.	Peso de la mezcla aceite solvente para destilar	70
Figura 3.18.	Peso balón de destilación	71
Figura 3.19.	Sistema de destilación armado	71
Figura 3.20.	Evaporación solvente	72
Figura 3.21.	Recuperación fallida	72

Figura 3.22.	Solvente recuperado	73
Figura 3.23.	Aceite reciclado	73
Figura 3.24.	Peso del balón con residuo de aceite	74
Figura 3.25.	Peso residuo vaso de aceite reciclado	74

## Índice de Tablas

Tabla 1.1.	Clasificación API para motores naftenos	9
Tabla 1.2.	Clasificación API para motores Diesel	10
Tabla 1.3.	Clasificación API para transmisiones automotrices	12
Tabla 1.4.	Clasificación de viscosidades en aceite para motor SAE J 300	13
Tabla 1.5.	Límites máximos de concentraciones de emisión al aire para la producción de cemento (mg/nm <sup>3</sup> ).	19
Tabla 2.1.	Informe de resultados aceite usado. Informe N° 12-10-02-P-2	42
Tabla 2.2.	Requisitos fisicoquímicos para bases lubricantes parafinitas y re-refinadas	47
Tabla 2.3.	Costo de regeneración de un galón de aceite re-refinado	49
Tabla 2.4.	Informe de resultados aceite re-refinado. Informe N° 12-10-02-P-1	50
Tabla 2.5.	Valoración pruebas realizadas con la norma 2029:1995	51
Tabla 2.6.	Informe de resultados lodo ácido. Informe N° 12-10-03-P-1	53
Tabla 2.7.	Informe de resultados lodo arcilloso. Informe N° 12-10-03-P-2	54
Tabla 2.8.	Metales pesados en aceite reciclado y residuos	54
Tabla 3.1.	Solventes requeridos para la regeneración	58
Tabla 3.2.	Ficha de dato de seguridad 2-Propanol	58
Tabla 3.3.	Ficha de dato de seguridad 1-Butanol	59
Tabla 3.4.	Ficha de dato de seguridad de n-Hexano	60
Tabla 3.5.	Ficha de dato de seguridad de Metil Etil Ketona	60
Tabla 3.6.	Materiales e insumos para regeneración de aceite	61
Tabla 3.7.	Prueba piloto en concentración baja de solventes	63

Tabla 3.8.	Relación solvente aceite usado, según JP Martins	64
Tabla 3.9.	Resumen pruebas realizadas, equivalencia ml y gramos	64
Tabla 3.10.	Detalle últimas pruebas método del solvente	65
Tabla 3.11.	Destilaciones realizadas	76
Tabla 3.12.	Informe de resultados aceite re-refinado. N° 13-02-3-P-1.	75
Tabla 3.13.	Comparación resultados con norma NTE INEN 2029:1995	77
Tabla 3.14.	Rangos de viscosidad.	78
Tabla 3.15.	Informe de resultados aceite re-refinado. N° 13-02-3-P-1.	79
Tabla 3.16.	Resultados análisis de metales pesados en residuos de la regeneración	80
Tabla 3.17.	Cantidad de solvente utilizado	81
Tabla 3.18.	Costo de reactivos en ml	82
Tabla 3.19.	Costo de reactivos en gr	82
Tabla 3.20.	Costos prueba N°1, con 50 ml de aceite usado	83
Tabla 3.21.	Costos prueba N°2, con 100 ml de aceite usado	83
Tabla 3.22.	Costos prueba N°3, con 300 ml de aceite usado	84
Tabla 3.23.	Costos prueba N°4, con 300 ml de aceite usado	84
Tabla 3.24.	Costos prueba N°5, con 300 ml de aceite usado	85
Tabla 3.25.	Costos prueba N°6, con 500 ml de aceite usado	85
Tabla 3.26.	Costos prueba N°7, con 500 ml de aceite usado	86
Tabla 3.27.	Costos totales de las pruebas	86
Tabla 3.28.	Costo material de laboratorio	87
Tabla 3.29.	Costo regeneración de un galón de aceite usado	88
Tabla 3.30.	Costo total de regeneración	88

Tabla 4.1.	Comparación resultados métodos de reciclaje con la norma NTE INEN2029:1995.	91
Tabla 4.2.	Metales pesados presentes en base aceitosa	90
Tabla 4.3.	Metales pesados presentes en los residuos	92

**Índice de anexos**

Anexo 1	Listado nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales	104
Anexo 2	Acta de compromiso con el Municipio de Loja	108
Anexo 3	Informe N° 12-10-02-P-2 aceite usado	110
Anexo 4	Informe N° 12-10-02-P-1. Aceite reciclado método ácido-arcilloso	111
Anexo 5	Informe N° 12-10-03-P-1 lodo borra ácido	112
Anexo 6	Informe N° 12-10-03-P-2 lodo borra arcilloso	113
Anexo 7	Certificado de utilización del estudio de Factibilidad	114
Anexo 8	Factura de permiso de compra de sustancias sujetas a fiscalización	115
Anexo 9	Guía de transporte de sustancias sujetas a fiscalización	116
Anexo 10	Informe N° 13-02-03-P-1 aceite reciclado método del solvente	117
Anexo 11	Informe N° 13-02-14-A-2 lodos sedimentados	118
Anexo 12	Factura costo del 2-Propanol	119
Anexo 13	Factura costo MEK, n-Hexano	120

## Resumen

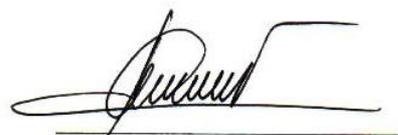
### ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE MINERAL BASE DE CALIDAD MEDIANTE EL MÉTODO DEL SOLVENTE

En el presente trabajo de graduación, se propuso la obtención de aceite mineral base de calidad mediante el método del solvente a partir del aceite lubricante usado, considerado desecho peligroso y perjudicial para el medio ambiente. Se realizaron cinco pruebas de regeneración por el método ácido arcilloso en la planta de reciclaje del municipio de Loja, recuperándose el 63% de base aceitosa con el 15% de lodo residual ácido y 25% arcilloso. En las pruebas realizadas se regeneró el aceite lubricante usado con solventes el 2-propanol, 1-butanol, n-hexano, obteniéndose el 93,44% de base aceitosa y 6,56% de lodo residual. Finalmente, se realizó el análisis técnico y económico de las bases y residuos en cada proceso, tomando en cuenta la norma INEN 2029:1995 “Derivados del petróleo. Bases lubricantes para uso automotor. Requisitos” resultando una base aceitosa de mejores características que la obtenida en la planta del municipio.

Palabras claves: reciclaje aceite lubricante, reciclaje por solventes, reciclaje método ácido arcilloso, desecho peligroso, base aceitosa regenerada.

  
Cristian Siguencia  
Autor

  
Junta académica

  
Dr. Juan Calderón  
Director Tesis.

## ABSTRACT

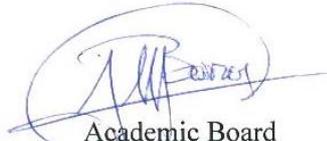
### TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS TO OBTAIN HIGH QUALITY MINERAL BASE OIL BY THE SOLVENT METHOD

This graduation work is a proposal for the use of the solvent method to obtain quality base mineral oil from used lubricating oil; which is considered dangerous and harmful waste to the environment. Five regeneration tests were performed at the recycling plant of the Municipality of Loja by applying the clay acid method; recovering 63% of oil based with 15% residual acid sludge, and 25% clay. In the tests performed, the lubricating oil was regenerated using 2-propanol, 1-butanol, n-hexane with solvent; obtaining 93.44% oily base, and 6.56% residual sludge. Finally, a technical and economic analysis of the bases and waste in each process was performed; taking into account the INEN 2029:1995 Ecuadorian technical standard "Petroleum products, lubricant bases for automotive use Requirements ", resulting in an oily base with better features than the one obtained in the municipality plant.

**Keywords:** recycling, lubricating oil, recycling by solvents, acid method recycling, clay, hazardous waste, regenerated oil base.

  
Cristian Siguencia  
Author

  
Dr. Juan Calderón  
Thesis Director

  
Academic Board

  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
DPTO. IDIOMAS

  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

Siguencia Carrillo Cristian Gonzalo

Trabajo de grado

Dr. Juan Rodrigo Calderón Machuca

Noviembre 2013

**Análisis técnico económico para la obtención de aceite mineral base de calidad  
mediante el método del solvente**

**INTRODUCCIÓN**

La base aceitosa es la materia prima para la elaboración de un aceite lubricante automotriz, esta puede ser un producto virgen derivado del petróleo, o de la regeneración de aceite lubricante usado. Para poder transformar la base aceitosa y llegue a ser aceite lubricante se le adhiere aditivos que mejoran las cualidades y propiedades de la misma.

El presente trabajo consiste en realizar un análisis técnico económico para la obtención de aceite mineral base de calidad, con el propósito de reutilizarlo para la elaboración de aceite lubricante automotriz, disminuyendo el uso de bases aceitosas vírgenes. Para lograrlo se comparan las bases aceitosas obtenidas por el proceso ácido arcilloso, empleado en la planta del municipio de Loja y de solventes planteado por el autor.

Los aceites lubricantes tienen como función principal de reducir la fricción entre piezas y mecanismos en movimiento. Después de su uso el aceite adquiere concentraciones elevadas de metales pesados debido al desgaste del motor, contacto con combustibles y degeneración de los aditivos.

En el primer capítulo se realiza una investigación profunda de las cualidades del aceite lubricante, tipos, clasificación; también se revisa las modificaciones a las que

se expone el aceite por el uso, teniendo un impacto hacia el medio ambiente y seres vivos, esto siempre que no se cumplan con las normas de manejo del aceite usado.

En el segundo capítulo se obtiene base aceitosa por medio del método ácido arcilloso, procedimiento empleado en la planta de reciclaje del municipio de Loja, se realiza el análisis de laboratorio a la base aceitosa, el lodo ácido y lodo arcilloso, con la finalidad de determinar los parámetros solicitados en la norma NTE INEN 2029:1995. Previamente se analiza el equipo con el que cuenta la planta de reciclaje, determinando las fases que componen el proceso.

En el tercer capítulo se analiza los fundamentos de la regeneración de base aceitosa por el método del solvente, realizando ensayos a nivel de laboratorio, demostrando que se puede obtener con la aplicación de 2-propanol, 1-butanol, n-hexano, dando un residual no tóxico como el del método ácido arcilloso, después de cinco pruebas se efectuaron los análisis de laboratorio, determinando las características de la base aceitosa y el residuo, complementando con el análisis del costo de la regeneración.

Finalmente se realiza el análisis técnico comparando la base aceitosa obtenida por el método ácido arcilloso, el método del solvente y la norma de los requisitos físicos químicos para bases lubricantes parafínicas y refinadas, de igual manera se realiza la comparación de los residuales subproducto de los procesos. Conjuntamente se realiza la comparación de los costos de regeneración, para determinar así los objetivos planteados.

## CAPÍTULO I

### ACEITE LUBRICANTE

#### 1.1. Generalidades

El aceite lubricante es una sustancia que tiene como función el disminuir la fricción entre las superficies de los elementos que componen el motor; también colabora con la refrigeración y evita la corrosión de los mismos, este se compone de una base aceitosa, que es de origen natural o sintético, a esta base para que realice estas tareas se le agregan aditivos que mejoran la capacidad de reducir el desgaste. Además, se consiguen objetivos secundarios como aumentar la estanqueidad en ciertos elementos (cilindros, segmentos, juntas) trasladar sedimentos y partículas perjudiciales.

La ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos generados por la fricción se llama Tribología, según Sitenordeste (2012), *“La tribología es la ciencia y técnica que estudia la interacción entre superficies en movimiento y los problemas relacionados con ellos; desgaste, fricción, adhesión y lubricación”*<sup>1</sup>.

Para cada lubricante, dentro de la gran variedad de aplicaciones, existen características que deben cumplir, las principales son: viscosidad, untuosidad, punto de inflamación, porcentaje de coquización, punto de congelación y descongelación. Así mismo contiene características secundarias tales como: poder anticorrosivo, antioxidante, antiespumante, detergente y resistencia a elevadas presiones.

##### 1.1.1. Historia de los aceites

Con los estudios realizados por Linares (2205), *“Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 A.C., lo cual ilustra el interés de nuestros*

---

<sup>1</sup> SITENORDESTE. *Tribología*. [En línea]. [Citado 2011-12-12]. Disponible en: <http://www.sitenordeste.com/mecanica/tribologia.htm>

*antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, esto se utilizaba en el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de monumentos y pirámides, usando agua o grasa animal como lubricante”<sup>2</sup>.*

*“En el transcurso de los años, décadas, siglos, se ha venido utilizando este método y a partir del descubrimiento del petróleo, este paso era la fuente de lubricación, hasta que la lubricación sintética llegara desde la aviación al automóvil. Los derivados del petróleo han ido sufriendo una serie de cambios en el transcurso de los años, se incorporan aditivos de diferentes clases, para ayudarlos, mejorarlos y beneficiarse al máximo como lubricantes”<sup>3</sup>.*

### **1.1.2. Componentes del aceite lubricante**

Los aceites lubricantes automotrices pueden ser mineral o sintético, estos pueden ser usados en un motor a diesel o gasolina, transmisión manual o automática, así como para el sistema de dirección, la viscosidad que se requiere depende de la calidad del aceite base, de la procedencia del mismo y los aditivos incorporados a la misma para mejorar la eficacia y funcionalidad del aceite base al ser aplicado.

*“Los aceites minerales son derivados del petróleo, son elaborados por múltiples procesos en plantas de producción, en refinerías. El petróleo bruto tiene diferentes componentes que lo hace indicado para distintos tipos de producto final, siendo el más adecuado para obtener aceites el crudo parafínico”<sup>4</sup>.*

*“Los aceites sintéticos no tienen su origen directo del crudo o petróleo, sino que son creados de subproductos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio, el tiempo requerido, añadido al proceso complejo en su elaboración, lo vuelve más*

---

<sup>2</sup>LINARES, Omar. *Generalidades de la Tribología*. [En línea]. 2005 [Citado 2011-12-12] Disponible en: <http://widman.biz/boletines/19.html>

<sup>3</sup>GONZÁLEZ TORRES, Germán. *La historia de la lubricación*. [En línea]. 2001 [Citado 2011-12-14] Disponible en: <http://www.astrolabio.net/aprenda/articulos/100238977210153.html>

<sup>4</sup>SOLO MANTENIMIENTO. *Clasificación de los aceites lubricantes por su uso*. [En línea]. 2011 [Citado 2011-12-15]. Disponible en: <http://www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm>

*costoso que los aceites minerales, siendo clasificados en : oligomeros, olefínicos, ésteres orgánicos, poliglicoles, fosfatos ésteres”<sup>5</sup>.*

### **1.1.2.1. Aditivos de los aceites lubricantes**

#### **1.1.2.1.1. Antioxidantes**

*“Los aceites expuestos a altas temperaturas y en contacto con el aire se oxidan, esto es, se forman compuestos químicos que pueden incrementar la viscosidad del aceite y causar corrosión. Los antioxidantes mejoran la estabilidad a la oxidación del aceite de 10 a 150 veces. No obstante, el efecto inhibitor que se puede conseguir con un aceite lubricante, es relativamente limitado”<sup>6</sup>.*

#### **1.1.2.1.2. Aditivos protectores contra la corrosión**

*“Existen dos tipos de aditivos que ofrecen protección contra la corrosión: aditivos solubles en agua (por ejemplo, nítrico sódico), y aditivos solubles en aceite; estos últimos pueden ser de varios tipos de jabones de plomo o los más modernos agentes basados en zinc”<sup>7</sup>.*

#### **1.1.2.1.3. Aditivos antiespumantes**

*“Si el aceite forma espuma, decrece la capacidad de carga de la película; si forma mucha espuma puede llegar a rebosar y producirse pérdidas. El efecto antiespumante, es decir, la acción de humedecer la espuma, se obtiene añadiendo pequeñas cantidades de silicona fluida. Los aditivos que atenúan la espuma hacen que las burbujas rompan cuando alcanzan la superficie del baño de aceite”<sup>8</sup>.*

---

<sup>5</sup>SOLO MANTENIMIENTO. *Clasificación de los aceites lubricantes por su uso*. [En línea]. 2011 Disponible en: <http://www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm>. [Citado 2011-12-15]

<sup>6</sup>GUZMÁN, Leonardo Martín. *Grasas lubricantes aplicadas a la industria*. [En línea]. 2010 [Citado 2011-12-16] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/grasas-lubricantes/grasas-lubricantes.shtml#ACEITES>

<sup>7</sup>GUZMÁN, Leonardo Martín. *Grasas lubricantes aplicadas a la industria*. [En línea]. 2010 [Citado 2011-12-16] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/grasas-lubricantes/grasas-lubricantes.shtml#ACEITES>

<sup>8</sup>CASTAÑEDA, Omar. *Mecánica Básica Conceptos y Definiciones*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-01-06] Disponible en : <http://es.scribd.com/doc/121998058/Temas-de-Mecanica-Basica>

#### 1.1.2.1.4. Aditivos con un efecto polar

*“Las grasas animales y vegetales, los ácidos grasos y ésteres, estas sustancias hacen que mejore la capacidad de absorción de presión que disminuya el rozamiento a temperaturas de hasta unos 100° C máximo”<sup>9</sup>.*

#### 1.1.2.1.5. Aditivos EP activos

*“Estos aditivos, fósforo y compuestos de cloro y azufre, actúan de forma diferente a los anteriores. No se conoce en detalle cómo trabajan, pero, después de reacciones intermedias, se obtiene finalmente una combinación química con la superficie metálica. Los compuestos fosforos, cloruros y sulfuros, tienen mucha menor resistencia que el metal y pueden cizallarse fácilmente. El aditivo de cloro es activo de 150 a 400° C, el de azufre entre aproximadamente 250 y 800° C, mientras que los de fósforo reaccionan a temperaturas menores. Estas temperaturas están muy localizadas y limitadas en un tiempo de una diezmilésima de segundo en el que dos zonas metálicas están en contacto. Algunos compuestos de plomo también tienen el mismo efecto”<sup>10</sup>.*

#### 1.1.2.1.6. Aditivos sólidos

*“Los aditivos sólidos, como el bisulfuro de molibdeno, pueden también mejorar las propiedades lubricantes. El tamaño de las partículas debe ser de unas 0.2 micras, pudiendo así permanecer en suspensión en el aceite. Las partículas mayores o menores que éstas, sedimentaran. Cuando hay que filtrar un aceite que contienen aditivos sólidos, el tamaño de los poros debe ser al menos de 20 a 30 micras, ya que de otra forma el descenso de presión en el sistema será innecesariamente grande”<sup>11</sup>.*

---

<sup>9</sup> CASTAÑEDA, Omar. *Mecánica Básica Conceptos y Definiciones*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-11-06] Disponible en : <http://es.scribd.com/doc/121998058/Temas-de-Mecanica-Basica>

<sup>10</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. *Conceptos y prácticas de la lubricación*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-01-06] Disponible en: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20LUBRICACION%20General%202012.pdf>

<sup>11</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. *Conceptos y prácticas de la lubricación*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-01-06] Disponible en: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20LUBRICACION%20General%202012.pdf>

#### 1.1.2.1.7. Aditivos detergentes HD

Los aditivos detergentes fueron introducidos en los años ´70 para los aceites de automóviles. Tenían la particularidad de “limpiar” el motor o mecanismo de los depósitos de carbón, según Segura (2011), *“Aditivos detergentes son sales sulfonatos, fenolatos, salicilatos y carboxilatos de los metales Na, Ca, Ba, Mg, Zn y al de masas molares entre 400-800, y que contienen sustituyentes alquil de cadena lineal o ramificada que imparten solubilidad al aditivo en la base lubricante. Sales de los metales de Ca, Ba y Mg son los más frecuentes”*<sup>12</sup>.

#### 1.1.3. Aplicaciones del aceite lubricante

En la actualidad los lubricantes para uso general han sido desplazados por las aplicaciones específicas, esto ha sido dado por la evolución de la calidad del terminado superficial de los materiales a lubricar. La diversidad de lubricantes nos permiten lubricar: motor gasolina, motor diesel, caja de cambios manual, caja de cambios automática, diferencial, sistemas de dirección asistidas, tricetas, homocinéticas, sistemas hidráulicos de vehículos pesados, (volquetes, tractores), compresores de aire, turbinas hidráulicas, máquinas a vapor, de coser, transformadores eléctricos, en fin los lubricantes siguen aplicándose en diferentes mecanismos.

#### 1.1.4. Consumo del aceite lubricante

*“En el Ecuador, se venden unos 23 millones de galones por año (incluidas las importaciones) de lubricantes. De esa oferta, Shell tiene una participación de 22 por ciento. Jaime Almeida (2006), del Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha, explica que de todos los lubricantes que se venden en el país, un 25 a 30 por ciento se importan y lo demás es de producción nacional. Aunque aclara que tanto las bases como los aditivos son importados. Las bases vienen de Venezuela (PDVSA) y los aditivos vienen de los productores más importantes de estos insumos: Lubrizol e*

---

<sup>12</sup> SEGURA Martín, MARCOS Jesús. *Aceites lubricantes para automóvil y sus principales aditivos*. [En línea]. 2011 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: <http://www.marcossegura.info/Aditivos%20para%20lubricantes.htm>.

*Infinium, de EE.UU, lo único que se hace en el país es el blending o mezclado de las bases con los aditivos de acuerdo con las formulaciones de cada marca”<sup>13</sup>.*

### **1.1.5. Clasificación de los aceites.**

Los aceites lubricantes para motor se clasifican por el tipo de servicio son clasificados por el Instituto Americano del Petróleo (API) y por el grado de viscosidad de acuerdo con la clasificación establecida por la SAE (Society of Automotive Engineers).

#### **1.1.5.1. Clasificación por el tipo de servicio**

Son clasificados por el Instituto Americano del Petróleo (API) para definir el tipo del servicio para el que son aptos. *“Esta clasificación aparece en el envase de todos los aceites y consta de 2 letras: La primera letra determina el tipo de combustible del motor para el que fue diseñado el aceite, utilizándose una "S" para motores a gasolina y una "C" para motores diesel. La segunda letra determina la calidad del aceite donde mayor es la letra (en el alfabeto) mejor es la calidad del aceite. Actualmente en motores a gasolina se utilizan los clasificación SJ mientras que en motores diesel los CH”<sup>14</sup>.*

Los aceites de mayor calidad o más recientes como el SJ pueden ser utilizados en vehículos viejos con especificaciones de aceite inferiores, pero por ningún motivo se deberá utilizar un aceite de calidad inferior al especificado por el fabricante del motor, una de las razones es la evolución de la calidad de materiales con las cuales se fabrican las piezas que componen los motores, el acabado superficial y especificaciones técnicas de las mismas.

---

<sup>13</sup> EXPLORED. *23 millones de galones de lubricantes se venden al año.* [En línea]. 2006 [Citado 2012-01-15]. 2006 [Citado 2012-01-15]. Disponible en: <http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/23-millones-de-galones-de-lubricantes-se-venden-al-ano-243818-243818.html>.

<sup>14</sup> SÁNCHEZ, Diego. *Clasificación de los aceites lubricantes.* [En línea]. 2006 [Citado 2011-12-18]. Disponible en: <http://debates.coches.net/showthread.php?t=60913>.

Nivel API	Características
SA	Aceite sin aditivos, utilizados antes de la década del 30. Obsoleto.
SB (1930)	Mínima protección antioxidante, anticorrosiva y antidesgaste. Obsoleto.
SC (1964)	Incorpora el control de depósitos a baja y alta temperatura. Obsoleto.
SD (1968)	Mayor protección que el nivel anterior respecto de la formación de depósitos, desgaste y corrosión. Obsoleto.
SE (1972)	Mayor protección contra la oxidación del aceite, depósitos de alta temperatura, herrumbe y corrosión. Obsoleto.
SF (1980)	Mayor estabilidad a la oxidación y características antidesgaste. Obsoleto.
SG (1989)	Mejor control de la formación de depósitos, oxidación del aceite y desgaste.
SH (1993)	Mejor protección respecto del nivel SG, fundamentalmente en el control de depósitos, oxidación del aceite, desgaste y corrosión. Estos aceites han sido aprobados siguiendo el “Código de Practica” del CMA (Chemical Manufactures Association).
SJ (1996)	Mejor formación de depósitos, mejor fluidez a bajas temperaturas, mayor protección motor a alto número de vueltas, menor consumo combustibles.
SL (2001)	Desarrollada para aceites con economía de combustibles, provee superior resistencia antioxidante a las altas temperaturas y al desgaste. Suple algunas falencias de SJ indicadas por fabricantes europeos (ACEA A2 y A3)
SM 2004	API SM fue adoptado para definir a los aceites destinados a los más modernos motores nafteros y también a los de generaciones anteriores, en aplicaciones típicas de automóviles para pasajeros. Vehículos deportivos de todo terreno-SUV, vans y camionetas, operando bajo las recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes. API SM es superior a API SL en aspectos tales como: Economía de Combustible, Bombeabilidad del aceite usado, Control del espesamiento debido a la Oxidación y la Nitración y los depósitos a alta temperatura, y en especial en cuanto al consumo de aceite y protección de los Sistemas de Control de emisiones.

Tabla 1.1: Clasificación API para motores nafteros.

Fuente: CAL. *Clasificación de los Lubricantes*, <http://www.cal.org.ar/clasificacion.pdf>, Argentina, 2011.

Nivel API	Características
CA (1940)	Motores de aspiración natural. Protección mínima contra la corrosión, desgaste y depósitos. Obsoleto.
CB (1949)	Motores de aspiración natural. Mejor control sobre los depósitos y el desgaste. Obsoleto
CC (1961)	Motores de aspiración natural, turbo o sobrealimentados. Mayor control sobre la formación de depósitos a alta temperatura y corrosión de cojinetes. Obsoleto.
CD (1955)	Motores de aspiración natural, turbo o sobrealimentados que requieren un mayor y efectivo control de los depósitos y el desgaste. Serie 3 clásicas. Obsoleta.
CD-II (1955)	Motores diesel de dos tiempos que requieren un efectivo control de desgaste y los depósitos (estos aceites cumplen todos los requerimientos del nivel CD). Obsoleto.
CE (1983)	Motores turbo o sobrealimentados para servicio severo. Control sobre consumo y espesamiento del aceite, depósito y desgaste. Dirigida a multigrados. Obsoleto.
CF- 4 (1990)	Motores turbo o sobrealimentados para servicio severo, especialmente en carretera. Reemplaza al nivel CE con mejor control de consumo de aceite y formación de depósito en los pistones.
CF (1994)	Motores de aspiración normal, turbo o sobrealimentados, que pueden usar gasoil con diferentes contenidos de azufre. Efectivo control de la formación de depósitos en los pistones, desgaste y corrosión en cojinetes. Reemplaza al nivel CD no reemplaza al nivel CE.
CF-2 (1994)	Motores diesel de dos tiempos que requieren un efectivo control de desgaste de aros y cilindros y de la formación de depósitos. Reemplaza al nivel CD-II. No necesariamente cumple los requerimientos de los niveles CF oCF-4.
CG-4 (1994)	Motores diesel para servicio severo, tanto en carreteras (gasoil con bajo contenido de azufre: 0,05% p.) como fuera de ellas (gasoil con contenido de azufre máximo de 0,5% p.). Efectivo control de los depósitos de alta temperatura, desgaste, corrosión, espuma, oxidación

	del aceite y acumulación de hollín. Diseñado para cumplir con las normas sobre emisiones de 1994. También se puede emplear cuando se requieran aceites de nivel CD, CE y algunos casos de CF-4. Se suele acompañar con CF-4 y normas Mercedes Benz.
CH-4 (1998)	Motores diesel para servicio severo, que emplean gas oíl con alto o bajo contenido de azufre, y que deben cumplir con estrictas normas de control de emisiones (USA 1998). Ha mejorado el control de depósitos en modernos pistones de dos piezas (excelente nivel dispersante), del desgaste y la resistencia a la oxidación. Sobresaliente control del hollín que producen los sistemas de inyección de alta presión y control electrónico.
CI-4	Comparada con CH-4, estos aceites brindan una mayor protección contra la oxidación, herrumbre, reducción del desgaste y mejora la estabilidad de la viscosidad debido a un mayor control del hollín formado durante el uso del aceite, -mejorando así el consumo de aceite-. Comprende aceites utilizados en motores Diesel de alta velocidad, que cumplen con los límites de emisiones implementadas a partir del 2002 y uso de combustibles que contengan hasta un 0,5% de azufre en peso. También para el uso extendido en motores con EGR (Recirculación de gases de BlowBy).
CI-4 “Plus” 2004	Surgió como resultado de cierta insatisfacción por parte de fabricantes como Caterpillar, Mack y Cummins en lo referente a requisitos de Control del espesamiento provocado por el hollín y de la caída de la viscosidad debido al alto esfuerzo mecánico sobre los aditivos mejoradores de viscosidad.

Tabla 1.2: Clasificación API para motores Diesel.

Fuente: CAL. *Clasificación de los Lubricantes*, <http://www.cal.org.ar/clasificacion.pdf>, Argentina, 2011.

La clasificación API también define de forma análoga los lubricantes para engranajes, utilizando en este caso la designación GL Lubricantes para engranajes y la exigencia a través del orden numérico, comenzando por el menor solicitado, identificándolo con -1- y al mayor con -6-.

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo de servicio</b>	<b>Características</b>
GL-1	Engranajes cilíndricos y cónicos de dientes rectos y helicoidales con cargas ligeras y uniformes.	Lubricantes sin aditivos, que pueden tener o no antioxidantes y antiespuma.
GL-2	Engranajes, tornillos sin fin y corona que trabajan en condiciones severas de cargas.	Contiene aditivos de antidesgaste o de untuosidad.
GL-3	Cajas de cambio y diferenciales con engranajes cónicos bajo condiciones moderadamente severas.	Proveen aditivos antidesgaste.
GL-4	Diferenciales con engranajes hipoidales en general.	Satisfacen norma: MIL-L- 2105
GL-5	Diferenciales con engranajes hipoidales sometidos a cargas variables.	Satisfacen norma: MIL-L-2105-D
GL-6	Diferenciales hipoidales con grandes distancias entre ejes de la corona y del piñón. Obsoleta.	Cumplían norma: FORD ESW M2 C.105 A

Tabla 1.3: Clasificación API para transmisiones automotrices.

Fuente: CAL. *Clasificación de los Lubricantes*, <http://www.cal.org.ar/clasificacion.pdf>, Argentina, 2011.

#### **1.1.5.2. Clasificación por su grado de viscosidad.**

Los aceites para motor están agrupados en grados de viscosidad de acuerdo con la clasificación establecida por la SAE (Society of Automotive Engineers). Esta clasificación permite establecer con claridad y sencillez la viscosidad de los aceites, representando cada número SAE un rango de viscosidad expresada en cSt (centistokes) y medida a 100°C y también a bajas temperaturas (por debajo de 0°C) para los grados W (winter). En esta clasificación no interviene ninguna consideración de

calidad, composición química o aditivos, sino que se basa exclusivamente en la viscosidad.

En cuanto a grado de viscosidad se refiere, existen 2 tipos de aceites:

**Monogrados:** “Diseñados para trabajar a una temperatura específica o en un rango muy cerrado de temperatura. En el mercado se pueden encontrar aceites monogrado SAE 10, SAE 30, SAE 40, entre otros”<sup>15</sup>.

	<b>Grado viscosidad SAE</b>	<b>°C C.C.S. Viscosidad cP Max.</b>	<b>°C Bombeo viscosidad cP Max.</b>	<b>Viscosidad dinámica cSt a 100°C</b>	<b>HT/HS AT/AC Visc. cP a 150°C</b>
<b>Viscosidad a baja temperatura</b>	0W	6200 a -35	60000 a -40	3.8 –	--
	5W	6600 a -30	60000 a -35	3.8 –	--
	10W	7000 a -25	60000 a -30	4.1 –	--
	15W	7000 a -20	60000 a -25	5.6 –	--
	20W	9500 a -15	60000 a -20	5.6 –	--
	25W	13000 a -10	60000 a -15	9.3 --	--
<b>Viscosidad a alta temperatura</b>	20	--	--	5.6 a 9.3	2.6
	30	--	--	9.3 a 12.5	2.9
	40	--	--	12.5 a 16.3	2.9*
	40	--	--	12.5 a 16.3	3.7**
	50	--	--	16.3 a 21.9	3.7
	60	--	--	21.9 a 16.1	3.7

Ref.: (\*) Para los grados 0W-40, 5W-40 y 10W-40

(\*\*) Para los grados 15W-40, 20W-40, 25W-40 y 40.

Tabla 1.4. Clasificación de Viscosidades en aceites para motor SAE J 300.

Fuente: CAL. *Clasificación de los Lubricantes*, <http://www.cal.org.ar/clasificacion.pdf>, Argentina, 2011.

<sup>15</sup> SÁNCHEZ, Diego. *Clasificación de los aceites lubricantes*. [En línea]. 2006 [Citado 2011-12-18]. Disponible en: <http://debates.coches.net/showthread.php?t=60913>.

**Multigrados:** *“Diseñados para trabajar en un rango más amplio de temperaturas, en donde a bajas temperaturas se comportan como un monogrado de baja viscosidad (SAE 10 por ejemplo) y como un monogrado de alta viscosidad a altas temperaturas (SAE 40 por ejemplo). Los aceites multigrados están formados por una aceite base de baja viscosidad así como de aditivos (polímeros) que evitan que el aceite pierda viscosidad al calentarse. Esto permite a los aceites multigrados trabajar en un rango muy amplio de temperatura manteniendo las propiedades necesarias para proteger el motor. En el mercado podemos encontrar aceites multigrados SAE 5W-30, SAE 15W-40, SAE 20W-50, entre otros”*<sup>16</sup>.

## 1.2. Aceites lubricantes usados

Según la legislación Europea (2011), *“Aceites Usados son todos los aceites industriales con base mineral o sintética, lubricantes que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiese asignado inicialmente y, en particular, los aceites usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión, así como los aceites minerales lubricantes, aceites para turbinas y sistemas hidráulicos”*<sup>17</sup>.

*“En el Ecuador se entiende por aceites usados todo los aceites industriales con base mineral o lubricantes que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiera asignado inicialmente y en particular los aceites usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión, así como, los aceites minerales lubricantes para turbinas y sistemas hidráulicos”*<sup>18</sup>.

### 1.2.1. Modificaciones del aceite lubricante por el uso.

La base aceitosa no se gasta solo se contamina y esto es debido a diversos factores como la temperatura y el estado de la máquina que lubricó, son los factores más

---

<sup>16</sup> SÁNCHEZ, Diego. *Clasificación de los aceites lubricantes*. [En línea]. 2006 [Citado 2011-12-18]. Disponible en: <http://debates.coches.net/showthread.php?t=60913>.

<sup>17</sup> CEMPRE. *Aceites usados*. [En línea]. 2011 [Citado 2011-12-27] Disponible en: [http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79&Itemid=85](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=85).

<sup>18</sup> FIGEMPA. *Manejo ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador*. Tesis de ingeniería no publicada. Ecuador 2010. Universidad Central del Ecuador. Quito. p 10.

influyentes para el deterioro del aceites. *“Los lubricantes derivados del petróleo son hidrocarburos, estos se descomponen cuando están sometidos a altas temperaturas haciendo que el aceite se oxide o se polimerice”*<sup>19</sup>.

El aceite descompuesto de esta forma presenta productos solubles o insolubles, los solubles, son ácidos que forman emulsiones estables en presencia del agua y que atacan químicamente las superficies metálicas, principalmente cuando son de plomo o de cobre plomo, si la concentración de estos ácidos aumenta considerablemente no pueden ser inhibidos por los aditivos antioxidantes y anticorrosivos, formando lodos que dan lugar a los productos insolubles. Si estos productos no se eliminan del aceite pueden deteriorar las superficies metálicas que lubrican o taponan las tuberías de conducción del mismo.

### **1.2.2. Viscosidad del aceite lubricante usado**

Según el estudio realizado por Daniel Veintimilla y Jorge Pesantez, nos dice: *“La viscosidad puede ser alterada por distintos efectos (temperatura, filtraciones de agua y combustible, oxidación y nitración) los cuales causan cambios en su comportamiento, estos pueden indicar degradaciones propias del aceite o anomalías en el funcionamiento del motor; en donde se relaciona la sensibilidad (Índice de Viscosidad) con el kilometraje, a los 3000km el vehículo sin carga tiene un mayor incremento que con carga, lo cual puede ser interpretado como una mayor ruptura en las moléculas de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad; mientras que a los 7500km del vehículo sin carga la sensibilidad desciende tanto hasta situarse en un punto menor que la muestra 7500km con carga, lo cual nos indica que el vehículo sin carga producto de las altas revoluciones genera mayores cambios en la estructura del lubricante debido a las polimerizaciones, oxidación, pérdidas por evaporación, formación de lodos y lacas”*<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> BUILDES Santiago. *Biodegradación de aceites usados*. [En línea]. 2010 [Citado 2012-01-05]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/biodegradacion-aceites/biodegradacion-aceites.shtml>

<sup>20</sup> PESANTEZ Jorge, VEINTIMILLA Daniel. *Análisis y diagnóstico del aceite Mobil 15w40 utilizado en un motor Isuzu turbo diesel*. Tesis de Ingeniería no publicada. Ecuador 2011. Universidad del Azuay. p. 164.

### 1.2.3. Impacto ambiental del aceite lubricante usado

Con el crecimiento del parque automotor se ha incrementado la cantidad de desechos que se generan como lo es el aceite. Las prácticas correctas del manejo de estos desechos considerados peligrosos ayudan al aprovechamiento energético como una forma de reciclaje, cumpliendo con normas de contaminación no perjudiciales al ambiente.

#### 1.2.3.1. Aire

En la constitución de la república del Ecuador, *“Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumakkawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”*<sup>21</sup>.

Según el convenio de Basilea de las Naciones Unidas busca de la preservación y conservación del medio ambiente proponiendo la práctica de un proceso de reciclaje de aceites usados el coprocesamiento, técnica ambientalmente racional de los desechos peligrosos, que consiste en: *“ uso de materiales de desecho adecuados en los procesos de fabricación con el propósito de recuperar energía, recursos y reducir en consecuencia el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución”*<sup>22</sup>.

Según el acuerdo ministerial N° 142 con registro oficial N° 856 del 21 de diciembre de 2012,, *“Listado Nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligroso y especiales”*<sup>23</sup> , el aceite usado es considerado desecho peligroso, observar anexo 1,

---

<sup>21</sup> ASAMBLEA CONSTITUYENTE. *Constitución de la República del Ecuador*. Artículo 14, sección segunda Ambiente sano. Ecuador 2011 p. 24

<sup>22</sup> NACIONES UNIDAS. *Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento*. Decima reunión. Cartagena Colombia 17 al 21 de octubre 2011 p. 8.

<sup>23</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Listado nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales*. Registro oficial N° 856. Acuerdo ministerial N° 142. Ecuador 2012 p 12.

según el listado de desechos peligrosos por fuente no específica, designado con el código NE-03 equivalente al Y8 otorgado por Basilea.

La norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros<sup>24</sup>, (2011), nos dice que: *de acuerdo al Convenio de Basilea el coprocesamiento de desechos peligrosos es una alternativa ambiental, social y económicamente sustentable debido a que se reconoce como un método de disposición ambientalmente amigable; reduce el uso de combustibles tradicionales, reduce riesgos sociales por minimizar el contacto de la población con el desecho peligroso (se evita que el desecho llegue a botaderos y sitios de disposición final), así mismo se promueve la valoración económica del desecho peligroso a través de su aprovechamiento energético o como materia prima.*

Para poder disponer de los residuos peligrosos como combustibles o materia prima, se debe obtener la licencia ambiental, la cual será indefinida en la medida en que los monitoreos ambientales indiquen el cumplimiento de la norma ambiental vigente presente en el TULSMA título IV del libro VI. Así mismo deberá verificar la actividad principal o tipo de procesos de la generación del desecho, disposición intermedia, almacenamiento o tratamiento del desecho, las características físicas químicas, información de seguridad salud y clasificación de riesgo, volúmenes existentes en almacén y cantidades esperadas de entrega mensual. Dependiendo del tipo de desecho se seleccionará el punto de alimentación de acuerdo a las propiedades físicas químicas de los desechos peligrosos.

Según la norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión<sup>25</sup>, (2011). *Se prohíbe el uso de aceites lubricantes usados como combustible en calderas, hornos u otros equipos de combustión, con excepción de que la fuente fija de combustión demuestre, mediante el respectivo estudio técnico, que cuenta con equipos y procesos de control de emisiones producidas por esta combustión, a fin de no comprometer la calidad del aire al exterior de la fuente, e independientemente de si*

---

<sup>24</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros*. Registro oficial N° 439. Acuerdo ministerial N° 048. Ecuador 2011 p 7.

<sup>25</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión*. Ecuador 2011 p 385.

*la fuente fija es significativa o no significativa. Los planos y especificaciones técnicas de la instalación, incluyendo las previsiones de uso de aceites lubricantes usados, sea como combustible principal o como combustible auxiliar, o como combinación de ambos, se sujetarán a las disposiciones de la normativa aplicable para el manejo de desechos peligrosos y de su disposición final.*

La Entidad Ambiental de Control emitirá el respectivo permiso de operación para las fuentes que utilicen aceites lubricantes usados como combustible, permiso que será renovado cada dos años, previo el respectivo dictamen favorable, considerando los requerimientos estipulados tanto aquí como en la normativa aplicable a desechos peligrosos y su disposición final.

El manejo inadecuado del aceite usado, La eliminación del aceite usado por combustión solo o mezclado con fuel-oíl, también origina graves problemas de contaminación, a menos que se adopten severas medidas para depurar los gases resultantes.

Los compuestos de cloro, fósforo, azufre, presentes en el aceite usado dan gases de combustión tóxica que deben ser depurados por vía húmeda. Otro gran problema lo crea el plomo que emitido al aire en partículas de tamaño micrométrico perjudica la salud de los seres humanos, sobre todo de los niños. El plomo es el más volátil de los componentes metálicos que forman las cenizas de los aceites usados, por lo que puede afirmarse que, prácticamente, cuando se quema aceite todo el plomo es emitido por las chimeneas. La cantidad de plomo presentes en el aceite usado oscila del 1-1,5% en peso y proviene de las gasolinas y de los aditivos.

*“Si optamos por quemar 5 litros de aceite usado, sola o con fuel-oíl, emitiríamos una contaminación atmosférica a través de la combustión incontrolada de los mismos, debido a que los componentes de los metales y cloro, que contienen, producen gases tóxicos que deben ser depurados que contaminarían un volumen de aire equivalente al que respira un adulto a lo largo de 3 años de su vida.”<sup>26</sup>*

---

<sup>26</sup>DEPUROIL. (2007). *Riesgos medio ambientales de los aceites industriales*. [En línea]. Disponible en: <http://www.euskalnet.net/depuroilsa/Riesgosmedioambiente.html#D> [Consultado: 11-08-2012]

Contaminante	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de enero de 2003	Fuente fija existente: con autorización de entrar en funcionamiento antes de enero de 2003	Fuente fija nueva: en funcionamiento a partir marzo de 2013	Observaciones
Partículas totales	120	40	30	Gases de combustión de horno rotatorio
Partículas totales	80*	40*	30*	Enfriador de clinker
Partículas totales			50*	Molienda de clinker
Partículas totales		1000	50*	Otras fuentes
Óxidos de nitrógeno	1400	500	500	Gases de combustión de horno rotatorio
Dióxido de azufre	600	500	400	Gases de combustión de horno rotatorio
mg/Nm <sup>3</sup> : miligramos por metro cúbico de gas de combustión en condiciones normales, mil trece milibares de presión (1013 mbar) y temperatura de cero grados centígrados (0 °C), en base seca y corregido al 10% de oxígeno. * No se aplica la corrección por oxígeno.				

Tabla 1.5: Límites máximos de concentraciones de emisión al aire para la producción de cemento (mg/nm<sup>3</sup>).

Tomado de: Norma de concentraciones de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión..p 20.

### 1.2.3.2. Agua

Según la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, en los criterios generales para la descarga de efluentes<sup>27</sup>. (2011). *Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos-semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.*

En la misma norma de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, (2011). *“Se prohíbe la descarga hacia el sistema de alcantarillado de residuos líquidos no tratados, que contengan restos de aceite lubricante, grasas, etc..., provenientes de los talleres mecánicos, vulcanizadoras, restaurantes y hoteles”*<sup>28</sup>.

La contaminación del agua se provoca si, *“Los aceites no se disuelven en el agua, no son biodegradables, forman películas impermeables que impiden el paso del oxígeno y matan la vida tanto en el agua como en tierra, esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta. Los hidrocarburos saturados que contienen, no son biodegradables (en el mar el tiempo de eliminación de un hidrocarburo puede ser de 10 a 15 años). El aceite usado no puede verterse en el agua, 1 litro de aceite contamina 1000000 litros de agua, como se indicó anteriormente. 5 litros de aceite usado, capacidad corriente del cárter del automóvil, vertidos sobre un lago cubriría una superficie de 5000m<sup>2</sup> con un film oleoso que perturbaría gravemente el desarrollo de la vida acuática”*<sup>29</sup>.

### 1.2.3.3. Suelo

La norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados<sup>30</sup>, (2011). *Los talleres mecánicos y lubricadoras, y cualquier*

<sup>27</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Ecuador 2011 p 323.

<sup>28</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. (2011). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Ecuador 2011 p 329.

<sup>29</sup> G-OIL. (2012). *Contaminación por aceites lubricantes*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-08-12] Disponible en: <http://www.g-oil.cr/noticias/?p=531>

<sup>30</sup> MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. Ecuador 2011 p 354.

*actividad industrial, comercial o de servicio que dentro de sus operaciones manejen y utilicen hidrocarburos de petróleo o sus derivados, deberán realizar sus actividades en áreas pavimentadas e impermeabilizadas y por ningún motivo deberán verter los residuos aceitosos o disponerlos recipientes, piezas o partes que hayan estado en contacto con estas sustancias sobre el suelo.*

Este tipo de residuos deberán ser eliminados mediante los métodos establecidos en las Normas Técnicas y Reglamentos aplicables y vigentes en el país. Los aceites minerales usados y los hidrocarburos de petróleo desechados serán considerados sustancias peligrosas. Los productores o comercializadores de aceites minerales o aceites lubricantes están obligados a recibir los aceites usados, los cuales obligatoriamente deberán devolverles sus clientes.

La contaminación del suelo se provoca si: *“Los aceites usados vertidos en suelos producen la destrucción de microorganismos, del humus y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La eliminación por vertido de los aceites usados origina graves problemas de contaminación de tierras, ríos y mares. En efecto, los hidrocarburos saturados que contiene el aceite usado no son degradables biológicamente, recubren la tierra de una película impermeable que destruye el humus vegetal y, por lo tanto, la fertilidad del suelo”*<sup>31</sup>.

#### **1.2.3.4. Seres humanos**

El impacto que tiene los metales pesados sobre los seres humanos es variable, pero depende directamente de la cantidad a la cual están expuestos, muchos de estos son mortales y todos perjudican a la salud. Los metales que se encuentran más comúnmente en el aceite usado son: el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el zinc (Zn).

---

<sup>31</sup> MUFARREGÉ, Carlos. *Aceites lubricantes. Riesgo ambiental*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-10-10] Disponible en: [http://www.fhsrl.com.ar/index.php?option=com\\_content&view=category&id=56:agronegocios-y-bioenergia&layout=blog&Itemid=120](http://www.fhsrl.com.ar/index.php?option=com_content&view=category&id=56:agronegocios-y-bioenergia&layout=blog&Itemid=120)

## El plomo

Según la organización panamericana de la salud, (2012). *“El plomo es un metal natural que se encuentra en la corteza de la Tierra, especialmente donde las actividades volcánicas y desgastes geoquímicos suelen ocurrir. Las actividades humanas relacionadas con liberación del plomo en el ambiente son la minería, fundición, refinación y reciclaje informal del plomo, el uso de gasolina con plomo, la producción y el reciclaje de baterías de plomo-ácido y pinturas, soldadura, fábrica de cerámica, residuos electrónicos y el uso de plomo en (antiguas) tuberías de agua”*<sup>32</sup>.

En el ambiente, el plomo se puede encontrar en forma de partículas en suspensión en la atmósfera, el agua, el suelo y la biota en general. Vías de exposición son la inhalación, oral y dérmica. En los seres humanos, órganos blancos son el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos. La concentración de plomo en sangre, dientes y huesos puede ser utilizado para evaluar la exposición.

*“La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) / OMS, Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), llegaron a la conclusión de que el nivel previo de ingesta tolerable de 25 µg/kg de peso corporal por semana ya no era protectora a la salud, y no fue posible establecer una nueva ingesta semanal tolerable provisional. Se recomienda la mitigación de riesgos con esfuerzos para diferentes escenarios”*<sup>33</sup>.

## El cromo

*“Respirar niveles altos de cromo puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como*

---

<sup>32</sup> ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Toxicología del plomo*. [En línea]. 2012 [Citado 2013-08-12]. Disponible en: [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8206&itemid=39800&language=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8206&itemid=39800&language=es)

<sup>33</sup> ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Toxicología del plomo*. [En línea]. 2012 [Citado 2013-08-12]. Disponible en: [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8206&itemid=39800&language=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8206&itemid=39800&language=es)

*asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. Las concentraciones de cromo en el aire que producen estos efectos pueden ser diferentes para los diferentes tipos de compuestos de cromo; los efectos del cromo ocurren a concentraciones mucho más bajas que los del cromo.*

*El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo puede producir úlceras en la piel. Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III). En algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.*

*El efecto principal que se observa en animales que ingieren compuestos de cromo son irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado y anemia. Los compuestos de cromo son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas. En animales de laboratorio expuestos al cromo se han observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo del macho”<sup>34</sup>.*

### **El cadmio**

*“Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea. La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos.*

*El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos. Los efectos de la exposición al cadmio en niños seguramente serán similares a los efectos observados en adultos (daño del riñón, pulmón y los huesos dependiendo de la ruta de exposición)”<sup>35</sup>.*

---

<sup>34</sup> ATSDR. *Cromo*. [En línea]. 2008 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html).

<sup>35</sup> ATSDR. *Cadmio*. [En línea]. 2008 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html).

## **El zinc**

*“El zinc es un elemento esencial en la dieta. Ingerir muy poco zinc puede causar problemas, pero demasiado zinc también es perjudicial. Los efectos nocivos generalmente se empiezan a manifestar a niveles de 10-15 veces más altos que la cantidad necesaria para mantener buena salud. La ingestión de grandes cantidades aun brevemente puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos. Si se ingieren grandes cantidades durante un período más prolongado pueden ocurrir anemia y disminución de los niveles del tipo de colesterol que es beneficioso. No sabemos si los niveles altos de zinc afectan la reproducción en seres humanos. La administración de grandes cantidades de zinc a ratas las hizo estériles.*

*El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no han clasificado al zinc en cuanto a carcinogenicidad. Basado en información incompleta de estudios en seres humanos y en animales, la EPA ha determinado que el zinc no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.”<sup>36</sup>.*

### **1.2.4. Disposición final del aceite lubricante usado**

En la ciudad de Loja el destino final del aceite lubricante usado, según el Municipio de Loja se utiliza en los hornos de las fabricas de vidrio, ladrilleras y de tejas, también son usados en la construcción como recubrimiento de los moldes de madera para su preservación; en caminos vecinales son vertidos para evitar que sean polvorientos.

---

<sup>36</sup> ATSDR. Zinc. [En línea]. 2008 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts60.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts60.html).

## **CAPÍTULO II**

### **MÉTODO ÁCIDO-ARCILLOSO**

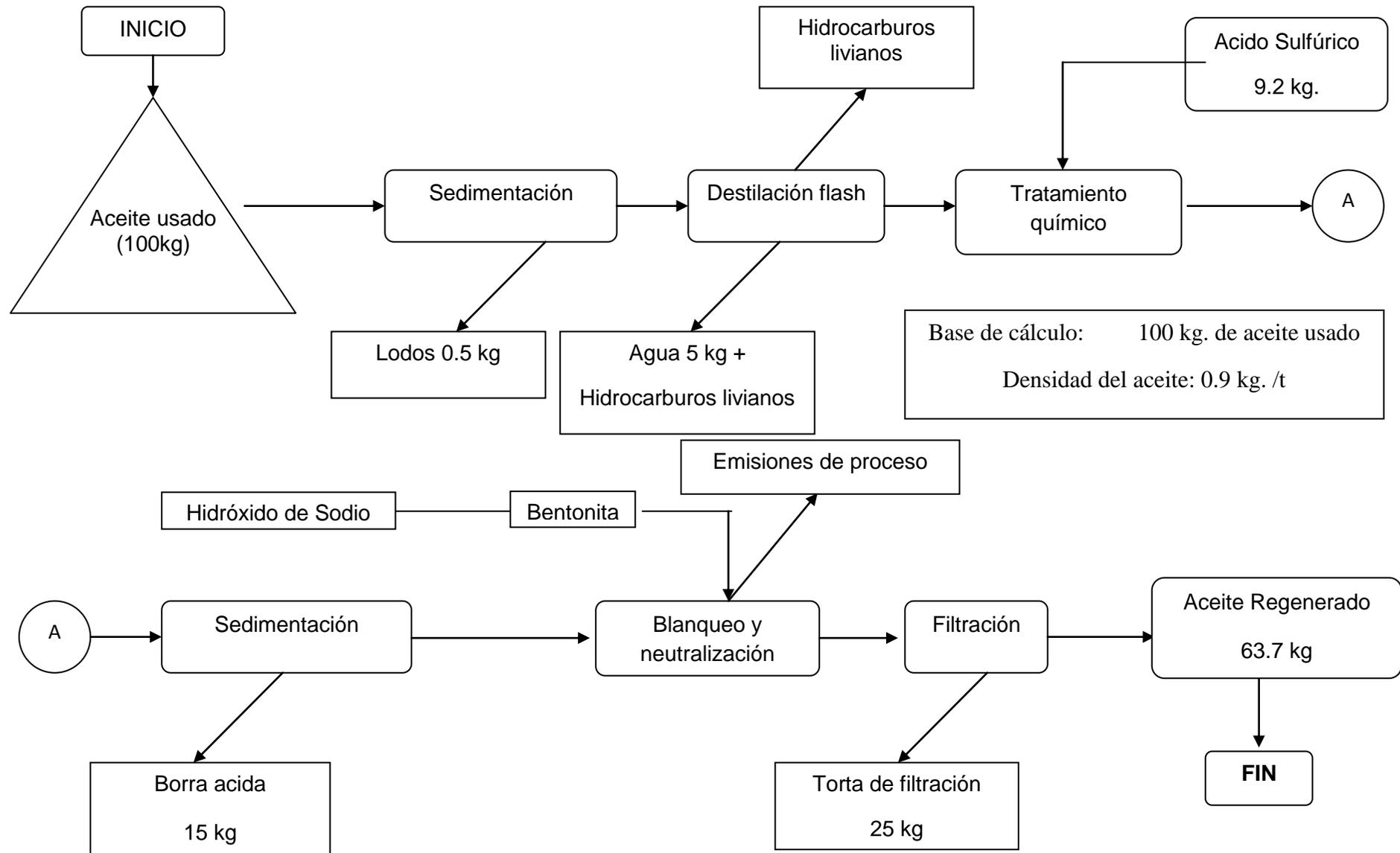
El reciclaje del aceite usado no ha tenido mucha importancia en años anteriores quizá por los exorbitantes costos en que incurren, la falta de tecnología y por no representar rentabilidad frente al producto virgen. PETROECUADOR consiente de los daños ambientales que ocasionan los aceites usados, a través de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador desarrolla y construye la Planta Piloto de Reciclaje de Aceite Usado en la ciudad de Quito. El Alcalde del cantón Loja consigue se dé al Municipio de Loja en calidad de comodato por 30 años la Planta de Reciclaje incursionando en una tarea difícil para llevar a cabo este proyecto pionero que disminuirá la contaminación ambiental del aire, agua y suelo.

Tras la tarea del departamento de gestión Ambiental del Municipio de Loja, se logró obtener un permiso para que pueda funcionar la planta por el tiempo de cinco meses, el mismo que fue emitido el 15 de julio del 2012, acción que se realizó por la falta de la licencia ambiental, documento que es emitido por el Gobierno Provincial.

El 21 de mayo del 2012, después de haber realizado las gestiones pertinentes para poder efectuar las prácticas necesarias y conocer los procedimientos ineludibles en la regeneración de aceite lubricante usado se firmó una acta de compromiso de práctica profesional (anexo 2), donde se destaca el tiempo que se tiene seis meses para desarrollar lo planteado en el proyecto de tesis.

La cantidad de pruebas que se han programado es de una por semana con el fin de optimizar el proceso del reciclaje del aceite, ya que al ser entregada la Planta al Municipio, no se adjuntó ningún manual o guía del proceso a seguir para lograr el producto. Tras haber efectuado cinco procesos de regeneración, se han tomado en cuenta varios parámetros tales como la destilación, el tiempo de reacción del ácido, la cantidad de hidróxido de sodio para regulación de la acidez, y algunos más.

FIGURA 2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL RECICLAJE DE ACEITE USADO POR EL MÉTODO ÁCIDO ARCILLOSO



## **2.1. Proceso actual**

La planta de reciclaje de aceite usado de Loja, cuenta con tres secciones: destilación, tratamiento químico, clarificación-filtración. En la figura 2.1. se presenta el diagrama de flujo del reciclaje de aceite usado por el método ácido arcilloso en donde se puede ver y analizar el proceso de regeneración, también se puede observar la cantidad de ácido adherida, bentonita, tonsil y cal, dando residuos ácidos, arcillosos, pérdidas por evaporación, filtración.

### **2.1.1. Recolección del aceite lubricante usado**

El municipio no cuenta con un plan ni cronograma de recolección de los aceites lubricantes, el aceite que ha sido llevado a la planta, es desde la gestión del antiguo coordinador de la planta. Sin embargo después de no haber trabajado por el lapso de dos años, se gestiona para que una constructora colabore con 15 tanques de 55 galones, dando así 825 galones de aceite lubricante usado.

### **2.1.2. Sección de destilación**

Es el primer paso que se da para la regeneración del aceite, este consiste en elevar la temperatura hasta cierto punto donde se llegaría a la separación de hidrocarburos livianos, diesel, gasolina, y agua, presentes en el aceite usado. Para la sección de destilación requiere de los siguientes equipos:

- Un tanque de almacenamiento de acero inoxidable con un sistema de dos poleas para medir el nivel, las medidas son 250cm de alto, por 160 cm de diámetro, capacidad de 5 m<sup>3</sup> que son 1321 galones.



Figura 2.2. Tanque de almacenamiento de aceite usado.

- Un horno de fraccionamiento de acero inoxidable con chimenea. Incluye: un quemador diesel marca Allison, con motor eléctrico marca Maratón de ¼ Hp.



Figura 2.3. Horno de fraccionamiento y quemador de diesel.

- Una columna de destilación flash de acero inoxidable, de 105cm de altura por 50cm de diámetro, incluye: visor, termómetro marca Tell-Tru de 450 grados centígrados y manómetros de 100psi.



Figura 2.4. Columna de destilación flash.

- Un tanque de almacenamiento de residuo, de acero inoxidable de 66cm de alto por 71 cm de diámetro, incluye visor, termómetro marca Tell-Tru de 450 grados centígrados. La capacidad útil de 0.261 m<sup>3</sup> que son de 70 galones.



Figura 2.5. Tanque de almacenamiento de residuo.

- Un intercambiador de condensación, de acero inoxidable en forma de L, incluye: 2 termómetros marca Weksler de 290 grados centígrados/u.



Figura 2.6. Intercambiador de condensación.

- Un acumulador de condensado, de acero inoxidable, medidas 84cm de alto por 48cm de diámetro, incluye medidor de nivel. Capacidad útil 0.15 m<sup>3</sup> que son 40 galones.



Figura 2.7. Acumulador de condensado.

- Bombas y tablero de control, dos bombas y un tablero de control. La primera, marca Tuthil modelo STIP0301A00V000 serie D10099 con motor eléctrico marca Siemens, serie 693521. La segunda bomba marca Tuthil modelo

STIP0301A00V000, serie D10098, motor eléctrico marca Siemens, serie 693527.



Figura 2.8. Bombas y tableros de control.

### 2.1.3. Sección de tratamiento químico

- Un tanque de enfriamiento de acero inoxidable de 81cm de alto por 78cm de diámetro. Incluye: termómetro TellTru de 450 grados centígrados. Volumen útil de  $0.387 \text{ m}^3$  que son 102 galones.



Figura 2.9. Tanque de enfriamiento.

- Un intercambiador de enfriamiento de acero inoxidable de 143cm de alto por 60 cm de diámetro, incluye dos termómetros marca Weksler de 290 grados centígrados cada uno. Un termómetro marca Hawk de 300 grados centígrados. Capacidad útil de 0.40 m<sup>3</sup> con un volumen de descarga 400 l/h.



Figura 2.10. Intercambiador de enfriamiento.

- Un tanque de almacenamiento químico de acero inoxidable de 80,5cm de alto por 56cm de diámetro. Capacidad útil 160 litros.



Figura 2.11. Tanque de almacenamiento químico.

- Dos reactores para tratamiento químico de acero inoxidable. El primer reactor de 123cm de altura por 78 cm de diámetro, incluye motor sin marca referencia 571308 y reductor marca Siti tipo MHL 20/2-13 N° r/148.8 con termómetro marca Hawk de 300 grados centígrados. El segundo reactor de 123cm de altura por 78cm de diámetro, incluye motor Siti N° 4031002 de 3396 rpm y reductor marca Siti tipo MHL 20/2-AL N° FP/196.1 con termómetro marca Tell Tru de 450 grados centígrados. Incluye bomba marca Tuthill y motor Siemens N° 728284. Capacidad útil de 0.59m<sup>3</sup> cada uno que son 155 galones.



Figura 2.12. Reactores químicos.

- Bomba de agua de enfriamiento de residuo marca Foras tipo JA 100 de 1HP N° F469.



Figura 2.13. Bomba de agua.

- Bomba de recirculación para enfriamiento de aceite, marca Tuthill N° parte 2C1ENV-C, con motor marca Siemens serie 728394.

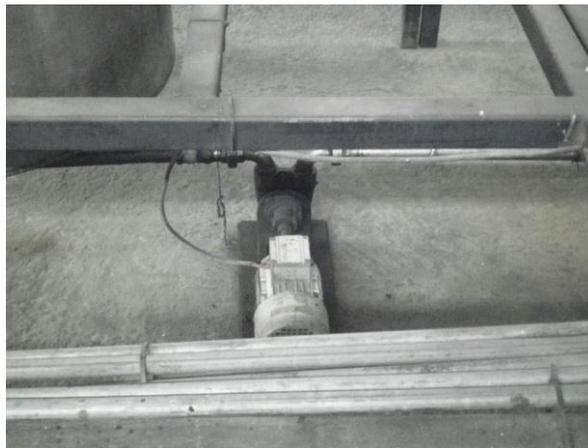


Figura 2.14. Bomba de recirculación de aceite.

- Compresor de frío, de latón de 108cm por 77cm por 96cm, con panel. Incluye: compresor marca Copeland serie 03G18732B. Con tanque químico, ventilador marca Eberle. Referencia fabricado por Heat Craft do Brasil Ltda. y tina de acero inoxidable de 180cm por 100cm por 95cm.



Figura 2.15. Compresor de frío.

#### 2.1.4. Sección de clarificación – filtración

- Un horno para clarificación, de acero inoxidable con chimenea. Cuenta también con un quemador de diesel marca York Shipley serie 373 con motor eléctrico y brake Honey Well.



Figura 2.16. Horno de fraccionamiento y quemador de diesel.

- Un tanque de productos limpios de acero inoxidable de 248cm de alto por 234cm de diámetro, capacidad de 2500 galones. Incluye medidor de nivel

externo con manguera y escalera de acero inoxidable. Capacidad útil de  $10.66\text{m}^3$  y 2820 galones.



Figura 2.17. Tanque de productos limpios.

- Bomba para clarificación de aceite, sin marca con motor eléctrico marca Weg de 2.2 HP N° 7094.



Figura 2.18. Bomba para clarificación de aceite.

- Bomba para filtros prensa, modelo NPE, Cat N°1ST1C1EA serie A0570742 con motor eléctrico marca Emerson de  $\frac{1}{2}$  HP.

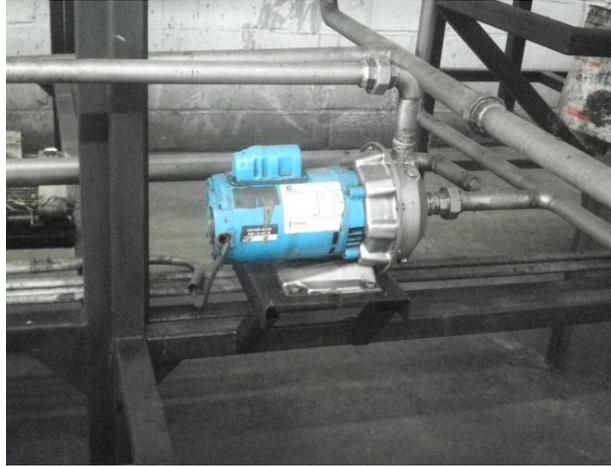


Figura 2.19. Bomba para filtro prensa.

- Un filtro prensa de acero inoxidable con 9 placas de 40cm por 40cm, con manómetro de presión de 80 PSI.



Figura 2.20. Filtro prensa.

- Dos reactores de clarificación de acero inoxidable. Primer reactor de 119cm de altura por 132cm de diámetro. Incluye: motor reductor, motor marca Siti N°4001003 de 3396 rpm, reductor marca Siti tipo MHL-25/2-L3. El segundo reactor de 119cm de altura por 132cm de diámetro, incluye: motor reductor, motor marca Siti N° 4001003 de 3396 rpm, reductor marca Siti tipo MHL25/2-13. Con un termómetro marca Telltru de 450 grados centígrados y un segundo termómetro marca Hawk de 300 grados centígrados.



Figura 2.21. Reactores de clarificación.

- Una carretilla de acero inoxidable de 94cm por 64cm, de 4 ruedas.



Figura 2.22. Carretilla de acero inoxidable.

- Dos tanques para aceite filtrado, de acero inoxidable de 65cm de diámetro por 65cm de altura, con una altura del cono inferior de 32cm. Capacidad útil de  $0.25 \text{ m}^3$  cada tanque, que son 66 galones.



Figura 2.23. Tanques para aceite filtrado.

Adicional a esto el sistema cuenta con válvulas de paso manuales, acoples, cañerías y la estructura en la cual se sujetan los mecanismos que lo componen.

#### 2.1.5. Proceso de regeneración

La regeneración de aceite lubricante usado por el método ácido arcilloso, está conformado por tres subprocesos: Destilación Flash, Tratamiento químico y Clarificación-Filtración, todo el proceso de obtención de aceite mineral base se realiza en tres días y cada subproceso se demora un día, la capacidad es de 600 litros, que se hacen 3 veces 200 litros cada uno.

El aceite lubricante se recoge por cada una de las lubricadoras, tecnicentros, talleres automotrices de la ciudad, llevado a las instalaciones de la planta de reciclaje y almacenado en dos depósitos cuya capacidad individual es de 8000Gal, estos depósitos colaborarán para la sedimentación de partículas, seguidamente el aceite es trasladado a un tanque de almacenamiento con una capacidad de 1321Gal (5000lt), con la ayuda de una bomba se traspasa a un tanque de almacenamiento de residuo 48,9Gal (185lt), luego de llenarse este se hace circular por un circuito el cual consta de un serpentín que es expuesto a la llama directa de un quemador de diesel, haciendo que el aceite alcance una temperatura de 185°C en la torre de destilación y

135°C en el tanque de destilación; en 8 horas de trabajo se puede destilar 146,8Gal (554lt). En este proceso se separa aceites livianos, agua, gasolina diesel; se deja enfriar hasta el día siguiente el aceite lubricante se lo envía al tanque de recirculación, la pérdida en el proceso es de 5,28Gal (20lt) aproximadamente.

En el segundo día de trabajo el aceite del tanque de destilación pasa por el intercambiador de calor llegando hasta los reactores de tratamiento químico cuya base tiene una forma cónica, cada reactor de tratamiento químico tiene una capacidad de 151,67gl (587,74lt) incluyendo el cono. En este sitio se le agrega el ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  en una cantidad proporcionada equivalente al 10% del peso o volumen del aceite, este se mezcla alrededor de una hora con la finalidad de homogenizar la mezcla, dejándola reposar por 24 horas. La pérdida en esta parte del proceso es de 10,58gl (40lt), lo que se sedimenta en el fondo del cono del reactor se le denomina borra ácida.

En el tercer día, se lleva el aceite del reactor de tratamiento químico al reactor de clarificación donde previamente se enciende el horno de fraccionamiento para calentar un aceite térmico, esto nos ayuda a calentar el aceite que se desea regenerar alrededor de 160°C donde se le agrega el hidróxido de sodio en una proporción de 7Kg para 70,1gl (265lt), esto se lo hace para neutralizar lo que se hizo en el proceso ácido, también se le agrega tonsil (arcilla activada) 50Kg y un saco (25Kg) de cal en polvo, para ayudar a la sedimentación de todas las partículas floculantes, se pierde 10,58gl (40lt), esto es mezclado durante dos horas para homogenizar la mezcla.

Finalmente se deja reposar la mezcla por el lapso de dos horas para luego ser filtrado y llevado a uno de los depósitos de aceite filtrado, para terminar de separar la borra arcillosa generada en el último subproceso.

## **2.2. Evaluación del aceite usado**

Las pruebas realizadas para determinar que el aceite reciclado sea de una calidad aceptable para su posterior utilización ya sea como bunker o base aceitosa para la elaboración de un nuevo lubricante, son las que datan en la norma INEN 2029:95,

también se toma los metales pesados que se encuentran en el aceite posterior a su utilización como son plomo, cromo, cadmio, zinc, teniendo puntual atención en estos ya que el contacto puede producir cáncer y la muerte.

Para realizar las pruebas de valoración del aceite usado se utilizó los servicios del Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, los resultados abarcan los siguientes parámetros:

- Aceite usado: viscosidad cinemática a 100 °C, metales pesados: Plomo, Cromo, Cadmio y Zinc.
- Aceite regenerado se envió analizar: viscosidad cinemática a 100 °C, índice de viscosidad, punto de inflamación, punto de vertido, color ASTM, cenizas, agua por destilación, así como metales pesados: Plomo, Cromo, Cadmio y Zinc.
- Lodo borra ácida: metales pesados: plomo, cromo, cadmio, zinc.
- Lodo borra arcillosa: metales pesados: plomo, cromo, cadmio, zinc.

Como resultado de los análisis obtenidos fueron entregados los siguientes:

- Informe N° 12-10-02-P-2, aceite usado, se puede ver anexo 3.
- Informe N° 12-10-02-P-1, aceite reciclado refinado, ver anexo 4.
- Informe N° 12-10-03-P-1, lodo borra ácida, se puede ver anexo 5.
- Informe N° 12-10-03-P-2, lodo borra arcillosa, se puede ver anexo 6.

Estos costos no forman parte de los costos de reciclaje de aceite lubricante ya que no son gastos directos de regeneración.

### **2.2.1. Aceite usado**

El aceite usado tuvo varias pruebas de viscosidad cinemática, y metales pesados, Cromo (Cr), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Zinc (Zn), de donde se obtiene una base de comparación para determinar la efectividad de los métodos empleados para la regeneración.

### 2.2.1.1. Viscosidad cinemática

El valor que ha sido medido es de 9,78 cSt, que según “la norma está dentro del rango media que va desde >6,1 hasta 21,1 cSt”<sup>37</sup>, el método de ensayo está dado por la norma ASTM D 445.

### 2.2.1.2. Metales pesados, cromo, plomo, cadmio, zinc

Como se conoce la degradación de aceite usado, arrastra consigo metales pesados. Para el análisis se ha tomado los metales que se consideran perjudiciales para la salud. Observar la siguiente tabla.

ENSAYO	UNIDAD	MÈTODO	RESULTADO
Viscosidad cinemática a 100 °C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	9,78
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,070
Cromo	mg/kg	ASTMD 5056/PNE/DPEC/A/SM3111B	<0,040
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,900
Zinc	mg/kg	ASTMD 5056/APHA3111B	0,398

Tabla 2.1.: Informe de resultados aceite usado. Informe N° 12-10-02-P-2.

Fuente: Universidad Central del Ecuador. (2012). Informe de resultados petróleos. Quito, N° 12-10-02-P-2 PR: Autor.

### 2.2.2. Evaluación del aceite regenerado.

Para la evaluación se tomaran las siguientes pruebas:

<sup>37</sup> INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Derivados del petróleo. Bases lubricantes para uso automotor. Requisitos.* Ecuador 1995 Primera edición. p 2.

Algunas pruebas no pudieron ser realizadas en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central, por lo mismo que no se obtuvo el dato de la Acidez total y Policíclicos Aromáticos, de tal forma que sin estos parámetros se dará un criterio lo más cercano posible con respecto a que la base aceitosa regenerada.

#### **2.2.2.1. Viscosidad cinemática**

*“La viscosidad es la característica más importante de un fluido desde el punto de vista de la lubricación y para casi todas las aplicaciones prácticas, ya que van a determinar su capacidad física para mantener la lubricación, esto es: fijar sus pérdidas por fricción, el rendimiento mecánico, la capacidad de carga y el gasto del fluido para unas condiciones determinadas de velocidad, temperatura, carga y dimensiones del elemento que se calcula... La viscosidad es la resistencia o frotamiento interno existente entre las moléculas de un fluido al deslizarse entre sí.”<sup>38</sup>*

#### **2.2.2.2. Índice de viscosidad**

*“En ocasiones conocido como VI, esto indica cuanto cambia ésta con la temperatura. Es especialmente útil cuando se trabaja con aceites lubricantes y fluidos hidráulicos utilizados en equipos que deben operar a extremos amplios de temperatura. Un fluido con índice de viscosidad alto muestra un cambio pequeño en su viscosidad con la temperatura. Un fluido con índice de viscosidad bajo muestra un cambio grande en su viscosidad con la temperatura”<sup>39</sup>.*

#### **2.2.2.3. Punto de inflamación**

*“El punto de inflamación de un aceite es, la temperatura más baja a la cual los vapores formados en la superficie del aceite entran en combustión en presencia de una llama. O dicho de otro modo, es la temperatura a la que el aceite empieza a*

---

<sup>38</sup> TORNOS, BERNARDO. *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. Editorial Reverte, S.A. España 2005 p 81.

<sup>39</sup> MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 6ª Ed. Prentice-Hall Inc. México 2006, pp. 28.

evaporarse. La medida del punto de inflamación indica si la evaporación o el consumo de aceite a temperaturas elevadas es superior o inferior en uno u otro tipo de aceite. El punto de inflamación de los lubricantes se sitúa siempre por encima de los 100 ° C, por lo que no están afectados por las normativas contra incendios en el almacenaje de los mismos”<sup>40</sup>.

#### **2.2.2.4. Punto de vertido**

“El punto de fluidez de un aceite es la mínima temperatura a la cual éste fluye sin ser perturbado bajo la condición específica de la prueba. Los aceites contienen ceras disueltas que cuando son enfriados se separan y forman cristales que se encadenan formando una estructura rígida atrapando al aceite entre la red. Cuando la estructura de la cera está lo suficientemente completa el aceite no fluye bajo las condiciones de la prueba. La agitación mecánica puede romper la estructura cerosa, y de este modo tener un aceite que fluye a temperaturas menores al punto de fluidez. En ciertos aceites sin ceras, el punto de fluidez está relacionado con la viscosidad. En estos aceites la viscosidad aumenta progresivamente a medida que la temperatura disminuye hasta llegar a un punto en que no se observa ningún flujo existente”<sup>41</sup>.

#### **2.2.2.5. Color ASTM**

“El color del aceite no es una propiedad fundamental, ni ofrece información sobre la calidad de un lubricante. El color se mide de acuerdo con una escala descrita en la norma ASTM-D-1500, que asigna números bajos a los aceites de color claro y números más altos para aceites de color oscuro. Sin embargo, los colores de los aceites base varían si les añadimos aditivos. Las variaciones de color en los aceites lubricantes resulta de la diferencia en crudos, viscosidad, método o grado de refinación y de la cantidad y naturaleza de los aditivos utilizados”<sup>42</sup>.

---

<sup>40</sup> PREDIC. *Principios de Lubricación*. [En línea]. 2003 [Citado 2012-11-10] Disponible en: <http://www.predic.com/lubricantes/lubricacion.html>.

<sup>41</sup> COMETTO, Ezequiel. *Los Lubricantes*. [En línea]. 2002 [Citado 2012-11-11] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos10/lubri/lubri.shtml#cara>.

<sup>42</sup> ELPRISMA. *Lubricantes – Fundamentos*. [En línea]. 2010 [Citado 2012-11-11] Disponible en: [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/lubricantesfundamentos1/default4.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/lubricantesfundamentos1/default4.asp).

#### 2.2.2.6. Contenido de cenizas

*“Las cenizas son los residuos incombustibles de un lubricante. Las cenizas pueden tener diferente origen: pueden provenir de sustancias activas disueltas en el aceite; también de grafito y el disulfuro de molibdeno así como los jabones y otros espesantes que producen cenizas. Los aceites usados contienen también jabones metálicos insolubles que se forman durante el servicio; además residuos incombustibles de partículas de suciedad causadas por abrasión y obstrucciones. A veces puede determinarse un deterioro inicial a raíz del contenido de cenizas”<sup>43</sup>.*

#### 2.2.2.7. Contenido de agua

*“El agua puede existir en el aceite en tres estados o fases. El primer estado, conocido como agua disuelta, se caracteriza por moléculas individuales de agua dispersas en el aceite. Una vez que la cantidad de agua ha excedido la concentración máxima para permanecer disuelta, el aceite se satura. En este punto, el agua está suspendida en el aceite en gotas microscópicas conocidas como emulsión. La adición de más agua a una mezcla emulsificada de aceite y agua conducirá a la separación de las dos fases, produciendo una capa de agua libre, así como aceite libre emulsificado.”<sup>44</sup>.*

#### 2.2.2.8. Policíclicos aromáticos

*“Estos compuestos derivados del benceno están formados por la unión de dos o más hidrocarburos aromáticos clínicos, que se unen a través de dos átomos de carbono que a su vez pueden unirse a otros dos dando lugar a largas moléculas cuyos componentes son anillos bencénicos. El benceno es un líquido transparente y muy refrigerante, tóxico y soluble en disolventes orgánicos. Tiene gran importancia en la*

---

<sup>43</sup> LIQUI MOLY. *Contenido de cenizas*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-11-11] Disponible en: <http://www.liqui-moly.cl/commerce2/enciclopedia.php?Letra=C>.

<sup>44</sup> ECHEVERRÍA, Esteban. *Contaminación del aceite con agua*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-11-11] Disponible en: [http://www.ingdatri.com.ar/pdf/004\\_agua\\_aceite.pdf](http://www.ingdatri.com.ar/pdf/004_agua_aceite.pdf).

*industria ya que se utiliza como materia prima de numerosos compuestos siendo también utilizado como disolvente*<sup>45</sup>.

#### **2.2.2.9. Metales pesados, cromo, plomo, cadmio, zinc**

El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el Mercurio (Hg), el Cadmio (Cd), el Arsénico (As), el Cromo (Cr), el Talio (Tl) y el Plomo (Pb). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Como elementos de rastro, algunos metales pesados, Cobre (Cu), Selenio (Se) y Zinc (Zn) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento<sup>46</sup>.

El aceite después de haber cumplido la fase de regeneración debe cumplir algunos requerimientos que están dados por la norma NTE INEN 2029:95, “Derivados del petróleo. Bases lubricantes para uso automotor. Requisitos”. En la tabla 2.27 se detalla los requisitos fisicoquímicos a cumplir y el método de ensayo con el cual se elabora.

Para determinar la cantidad de metales pesados, se debe hacer una evaluación en el aceite que ha sido regenerado, ya que la disminución del mismo en la base aceitosa regenerada puede ser un factor importante para determinar el destino final. Una gran cantidad de metales pesados darían como decisión que ésta base aceitosa sea incinerada en un alto horno y en caso de ser lo contrario podría ser la base para un nuevo lubricante.

---

<sup>45</sup> CHENG, Víctor. *Compuestos aromáticos*. [En línea]. 2005 [Citado 2012-11-13]. Disponible en: <http://www.emagister.com/curso-introduccion-quimica-organica/compuestos-aromaticos>.

<sup>46</sup> LENNTECH. *Metales pesados*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-12-14]. Disponible en: <http://www.lennotech.es/metales-pesados.htm>.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	LIVIANA		MEDIA		PESADA		CILINDRO PARAFINICO		MÉTODO DE ENSAYO
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 100 °C	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	ASTM D 445
INDICE DE VISCOSIDAD		92	--	95	--	95	--	70	--	ASTM D 2270
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	185	--	210	--	250	--	250	--	ASTM D 92
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	--	-12		-8		-8		-3	ASTM D 97
COLOR ASTM	U. COLOR		2		3,5		6,5		--	ASTM D 1500
ACIDEZ TOTAL	%m/m		0,06		0,06		0,06		0,1	--
CONTENIDO DE CENIZAS			0,1		0,1		0,1		0,1	ASTM D 482
CONTENIDO DE AGUA	%V		0,01		0,01		0,01		0,01	ASTM D 95
POLICÍCLICOS AROMÁTICOS	%P		3		3		3		3	--

Tabla 2.2: Requisitos fisicoquímicos para bases lubricantes parafinitas y re-refinadas.

Fuente: INEN. Norma NTE INEN 2029:1995. Derivados del petróleo. Bases lubricantes para uso automotor. Requisitos.

### 2.3. Residuos y productos de la regeneración

El proceso empleado en la regeneración del aceite en la planta de reciclaje de la ciudad de Loja da como resultado los siguientes subproductos:

- Destilación flash: agua, combustibles y lubricantes livianos.
- Tratamiento químico: borra o brea ácida,
- Tratamiento arcilloso: borra o brea arcillosa.

#### **2.4. Costos de la regeneración del aceite usado**

El precio de regeneración del aceite lubricante usado se elaboró con la ayuda del Estudio de Factibilidad del 2009, (anexo 7) donde se ha extraído el costo de las instalaciones, equipos, herramientas, servicios básicos y mano de obra donde se tiene:

- Los inmuebles con los que cuenta la planta de tratamiento tienen un costo de 69361 dólares, tienen una depreciación de 5% por año.
- Los equipos en la unidad de destilación tienen un costo de 29000 dólares, teniendo una depreciación por año del 10 %.
- Los equipos en la unidad de tratamiento químico tienen un costo de 39200 dólares, teniendo una depreciación por año del 10 %.
- Los equipos en la unidad de clarificación tienen un costo de 23500 dólares, teniendo una depreciación por año del 10 %.
- El presupuesto designado para cancelar los servicios básicos como luz, agua, teléfono, internet, es de 3030 dólares para todo el año.
- Se incluye el costo de mantenimiento de equipos y maquinarias que según el estudio de factibilidad es de 1800 dólares, se ha tomado esta base y se le ha agregado el 20% de imprevistos, dando un rubro de 2160 dólares por año.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO
Mano de obra	1 Ingeniero y 2 operarios	0,64
Materia Prima	Aceite Lubricante usado	0,20
Insumos	Acido sulfúrico	0,40
	Hidróxido de Sodio	0,40
	Arcilla Clarificante	1,60
	Diesel	0,40
	Placas filtrantes	0,75
	Otros (agua, energía eléctrica etc.,)	0,05
Depreciación	Maquinaria	0,16
	Inmuebles	0,06
Repuestos y mantenimiento		0,04
<b>Suman</b>		<b>4,70</b>

Tabla 2.3. Costo de regeneración de un galón de aceite re-refinado.

Fuente: Estudio de factibilidad GAD Municipal de Loja. (2009).

## 2.5. Análisis de la base aceitosa obtenida (prueba de laboratorio)

Después de cinco pruebas de regeneración de lubricante usado y de la evaluación en el laboratorio del aceite usado, el aceite regenerado así como de los residuos que son generados (brea ácida, brea arcillosa) los resultados son presentados en la tabla 2.29. Las condiciones en las cuales se hicieron fueron:

- Presión atmosférica de 545,7 mmHg.
- Temperatura 21,4° C, temperatura ambiente.
- El dato de punto de inflamación está corregido a presión atmosférica de 760 mmHg.

<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÈTODO</b>	<b>RESULTAD O</b>
Viscosidad cinemática a 100 °C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	3,88
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,070
Cromo	mg/kg	ASTMD 5056/PNE/DPEC/ A/SM3111B	<0,040
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,900
Zinc	mg/kg	ASTMD 5056/APHA3111B	0,348
Índice de viscosidad	-	PNE/DPEC/P/ASTM D 2270	77
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 92	147,1
Punto de vértigo	°C	ASTM D-97	-19
Color ASTM	U. color	ASTM D 1500	4,5
Cenizas	%P	ASTM D 482	0,147
Agua por destilación	%V	ASTM D 95	0,05

Tabla 2.4.: Informe de resultados aceite re-refinado. Informe N° 12-10-02-P-1.

Fuente: Universidad Central del Ecuador. (2012). Informe de resultados petróleos. N°12-10-02-P-1  
Quito

En la tabla 2.5 se hace la comparación directa de los valores que se obtienen de los análisis que se ha desarrollado y los valores que son sugeridos en la norma NTE INEN 2029.1995.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	LIVIANA		MEDIA		PESADA		CILINDRO PARAFINICO		VALOR MEDIDO	MÉTODO DE ENSAYO
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 100 °C	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	3,88	ASTM D 445
INDICE DE VISCOSIDAD		92	--	95	--	95	--	70	--	77	ASTM D 2270
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	185	--	210	--	250	--	250	--	147,1	ASTM D 92
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	--	-12		-8		-8		-3	-19	ASTM D 97
COLOR ASTM	U. COLOR		2		3,5		6,5		--	4,5	ASTM D 1500
ACIDEZ TOTAL	%m/m		0,06		0,06		0,06		0,1	--	--
CONTENIDO DE CENIZAS			0,1		0,1		0,1		0,1	0,147	ASTM D 482
CONTENIDO DE AGUA	%V		0,01		0,01		0,01		0,01	0,05	ASTM D 95
POLICÍCLICOS AROMÁTICOS	%P		3		3		3		3	--	--

Tabla 2.5: Valoración pruebas realizadas con la norma 2029:1995.

## **Viscosidad Cinemática**

El valor obtenido en el estudio de laboratorio por medio del procedimiento dado en la Norma ASTM D 445, es de 3,68 cSt según la tabla 2.1., está dentro del rango de los livianos (2 a 6,1 cts.).

## **Índice de viscosidad**

Es de 77, el procedimiento como la norma ASTM D 2270, que según la norma INEN NTE 2029:95, se aproxima al valor de “cilindro parafínico cuyo valor es de 70” que el Ing. Marcelo Monje Sanjines, analista de lubricantes de maquinarias, está dentro de un mediano índice de viscosidad.

## **2.6. Análisis de residuos**

En el primer paso, destilación al vacío, se llegan a separar agua, aceites y combustibles livianos, que son empleados en la planta como combustible para los procesos inherentes en la regeneración. Los metales pesados presentes en el aceite usado son separados con la ayuda del ácido sulfúrico, la concentración de estos en la brea ácida nos indica que esta mezcla está cumpliendo su función, esto se mide en partes por millón. En el siguiente paso del proceso donde la mezcla del hidróxido de sodio es empleado para la neutralización de la acidez y complementado con el tonsil y cal para mejorar la sedimentación, clarificación del aceite procesado, nos generará una sedimentación de borra o brea arcillosa que es de menor riesgo que la anterior.

### **2.6.1. Metales pesados, cromo, plomo, cadmio, zinc**

#### **2.6.1.1. Lodo ácido**

En el informe sobre el lodo borra ácida, entregado por el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, se analiza la concentración de metales pesados, Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Zinc (Zn). En este lodo debe haber una gran concentración de estos metales, ya que éste es el resultado

generado por el ácido sulfúrico, separándolas, luego son sedimentadas y extraídas de los reactores de tratamiento químico.

ENSAYO	UNIDAD	MÈTODO	RESULTADO
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,245
Cromo	mg/kg	ASTMD 5056/PNE/DPEC/ A/SM3111B	54,183
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	3,995
Zinc	mg/kg	ASTMD 5056/APHA3111B	62,399

Tabla 2.6.: Informe de resultados lodo ácido. Informe N° 12-10-03-P-1.

Fuente: Universidad Central del Ecuador. (2012). Informe de resultados petróleos. Quito, N° 12-10-03-P-1

### 2.6.1.2. Lodo arcilloso

Después de ser neutralizada la acidez del lubricante procesado, se coloca Tonsil y Cal, el primero captura las partículas que aún no se han sedimentado y las precipita hasta el fondo del recipiente de clarificación, consecutivamente es colocada la cal, ésta tiene como función de aclarar la mezcla y en conjunto con el Tonsil, el lodo es extraído del cono del recipiente, luego trasladado a un depósito en el exterior de la planta. En el informe N° 12-10-03-P-2, se citan los resultados de los análisis que se realizaron a éste lodo. Observar la siguiente figura.

### 2.6.2. Evaluación de residuos sólidos

Como se ha indicado anteriormente el lodo ácido contiene una gran cantidad de metales pesados, dado a que el ácido sulfúrico ha cumplido su labor como se esperaba. La adhesión del Tonsil también ha colaborado a que el cromo y zinc tenga una buena sedimentación.

ENSAYO	UNIDAD	MÈTODO	RESULTADO
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,107
Cromo	mg/kg	ASTMD 5056/PNE/DPEC/A/SM3111B	<1,469
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,900
Zinc	mg/kg	ASTMD 5056/APHA3111B	32,663

Tabla 2.7.: Informe de resultados lodo arcilloso. Informe N° 12-10-03-P-2.

Fuente: Universidad Central del Ecuador. (2012). Informe de resultados petróleos. Quito, N° 12-10-03-P-2. PR: Autor

METALES PESADOS EN ACEITE RECICLADO Y RESIDUOS						
ENSAYO	UNIDAD	MÈTODO	ACEITE USADO	ACEITE REGENERADO	LODO ÀCIDO	LODO ARCILLOSO
CADMIO	mg/Kg	ASTM D-5863	0,070	<0,070	0,245	0,107
CROMO	mg/Kg	ASTM D-5056	<0,400	<0,400	54,183	1,469
PLOMO	mg/Kg	ASTM D-5863	<0,900	<0,900	3,995	<0,900
ZINC	mg/Kg	ASTM D-5056	0,398	0,348	62,399	32,663

Tabla 2.8.: Metales pesados en aceite reciclado y residuos.

## CAPÍTULO III

### MÉTODO DEL SOLVENTE

En este capítulo hablaremos sobre el método del reciclaje de aceites usados, por medio de la aplicación de solventes, responderemos inquietudes que están implícitas al referirnos a regeneración por esta técnica. Hoy en día, se dice que es uno de los procesos más económicos y eficientes, siendo una alternativa diferente al métodos ácido arcilloso produciendo un lodo orgánico útil en vez de un lodo tóxico; siendo *“capaz de remover entre el 10-14% del aceite usado como contaminante, lo que corresponde a la cantidad de aditivos e impurezas que se encuentran en el aceite”*<sup>47</sup> después de haber sido usado. Este es uno de los aspectos que se demuestran con pruebas de laboratorio y la proyección de un estudio económico.

#### 3.1. Proceso de regeneración, fundamentos

Este método regeneración se subdivide en tres pasos:

- Sedimentación
- Adición del solvente, y agitación
- Evaporación

**Sedimentación.-** El aceite usado se guarda en un tanque con fondo cónico para permitir la sedimentación de partículas grandes, se deja en el tanque por 3 días para homogenizarlo.

**Adición del solvente.-** Se adiciona el aceite usado el solvente, se trabaja con 2-Propanol, 1-Butanol y n-Hexano. El proceso consiste en mezclar el aceite usado y el solvente en proporciones adecuadas para asegurar una completa miscibilidad de la

---

<sup>47</sup>AGUILAR, Luisa, GUEVARA Daniel, NOVOA Jenny. (2007). *Combustibles alternativos partir de aceites usados con tratamientos de Limpieza.*

base lubricante en el solvente. El solvente debe retener los aditivos y las impurezas orgánicas que normalmente se encuentran en los aceites usados.

**Agitación:** Se agita a 275 rpm durante 15 minutos, estas condiciones aseguran un mezclado adecuado. La mezcla se deja sedimentar por 24 horas, estas impurezas floculan y sedimentan por acción de la gravedad.

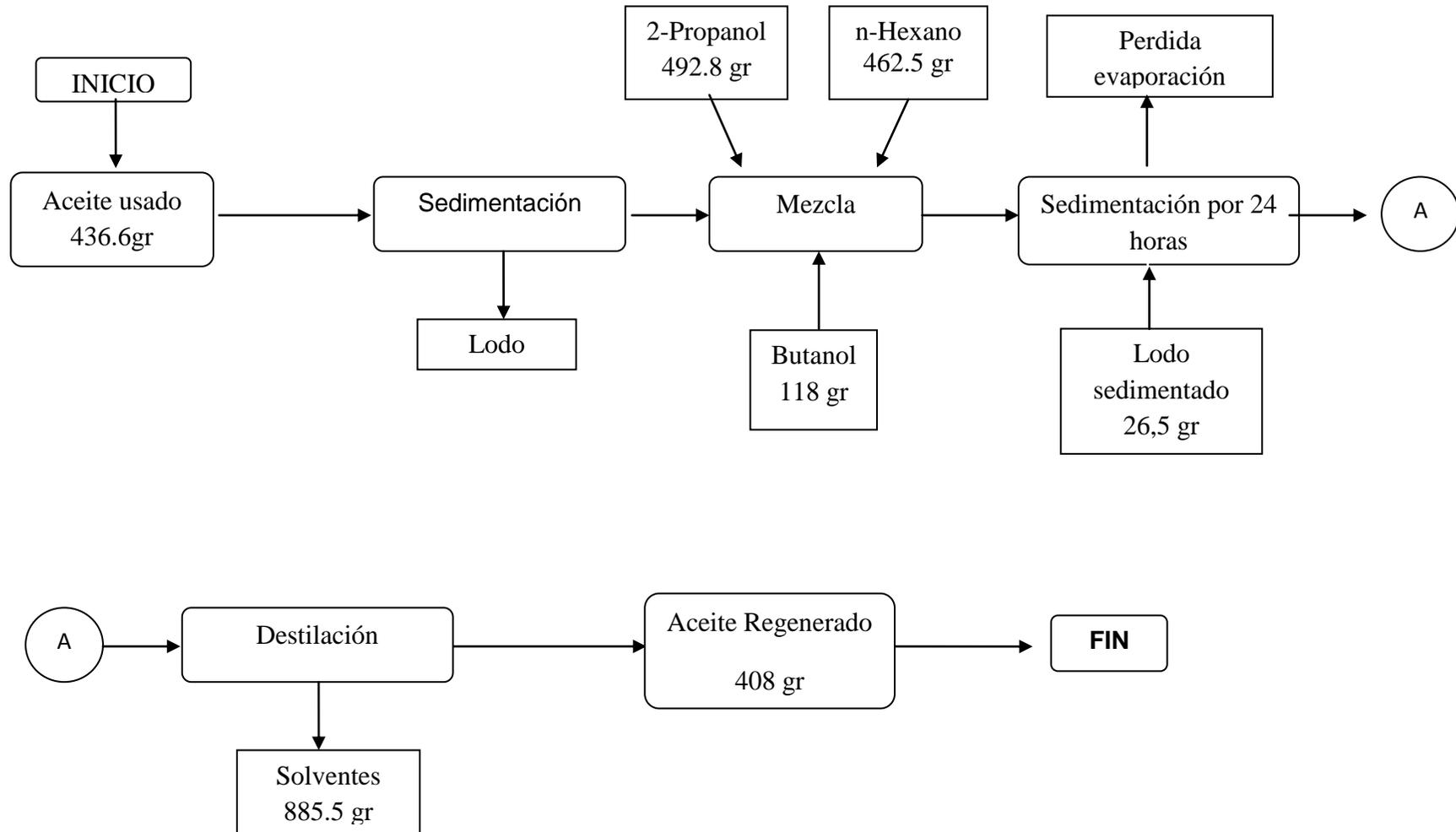
**Evaporación.-** Siguiendo el proceso se recupera el solvente por destilación para propósitos de reciclaje y de reutilización. El bajo punto de inflamación de los solventes permite que hasta 80° C se recupere el 95% del mismo.

### 3.2. Preparación de la materia prima para la regeneración

El aceite usado (figura 3.1.) que llega a la planta, ha sido dejado sedimentar por algunos días, se toma una muestra de 2 galones para ser tratado con solventes, este aceite es el mismo que se usó para la regeneración por el método ácido arcilloso. Este proceso se lo realiza ya que la comparación final y las conclusiones deben partir en que la misma calidad de aceite usado ha sido empleada para los dos procesos. En la figura 3.2. se dispone del diagrama de flujo del método del solvente.



Figura 3.1. Recipiente que contiene 2 galones de aceite recolectado.



Los solventes que se adquirieron son: n-Hexano, 1-Butanol, n-Propanol, Metil Etil Ketona MEK, esto debe tener permiso del CONSEP, para ello, se presentó la proforma del producto más la copia de cédula, certificado de votación a color del comprador, un croquis de donde se va a almacenar la sustancia y un informe de cómo será empleada (revisar anexo 8). Luego el CONSEP emite una orden de compra, después de esta gestión se entrega la aprobación a la casa comercial de tal manera que ellos realizaran un trámite para la guía de transportación (revisar anexo 9), esta se presenta en caso de alguna revisión policial. Los solventes que se adquirieron son: n-Hexano, 1-Butanol, n-Propanol, Metil Etil Ketona MEK. Ver tabla 3.1.

DESCRIPCIÓN	PRESENTACIÓN	CANTIDAD
n-Hexano	4 litros	1
1-Butanol	4 litros	1
2-Propanol	4 litros	1
Metil Etil Ketona MEK	1 litro	1

Tabla 3.1. Solventes requeridos para la regeneración.

Al trabajar con estos solventes debemos considerar que son altamente inflamables y perjudiciales para la salud de los seres humanos, razón por la cual se citará las fichas de seguridad de cada una de estas sustancias y el riesgo que representan una mala manipulación de las mismas.

### 2-Propanol, Isopropanol

Formula molecular	$C_3H_8O$
Densidad	$0,78 \text{ g/cm}^3$ (20°C)
Soluble en	$H_2O$ a (20°C)
Punto de ebullición	80°C
Temperatura de ignición	425°C
Molaridad	60.10 g/mol

Tabla 3. 2.: Ficha de dato de seguridad de 2- Propanol

Fuente: MERCK. (2005). Reactivos y Productos Químicos. pag. 805.

*“Identificación de los peligros.- Este producto está establecido como fácilmente inflamable. Los vapores son más pesados que el aire, por lo que pueden desplazarse al nivel del suelo, siendo posible la ignición a distancia. Debido a sus propiedades secantes, un contacto prolongado y repetido puede causar dermatitis crónica. Los vapores forman mezcla explosiva con el aire. En forma líquida o vapor, es un irritante débil de los ojos, membranas y mucosa”<sup>48</sup>.*

### 1-Butanol

Formula molecular	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
Densidad	0,81 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
Soluble en	H <sub>2</sub> O 79g/l (20°C)
Punto de ebullición	116°C a 180°C
Temperatura de ignición	340°C
Molaridad	74.12 g/mol

Tabla 3.3.: Ficha de dato de seguridad de 1-Butanol

Fuente: MERCK.(2005). Reactivos y Productos Químicos. pag. 259.

*“Es un líquido inflamable, puede liberar vapores que forman mezclas inflamables a la temperatura de ignición o más alta. Los vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Los vapores son más pesados que el aire, estos se dispersan a lo largo del suelo y se juntarán en las áreas bajas o confinadas. Los recipientes “vacíos” retienen residuo del producto (líquido o vapor) y pueden ser peligrosos. No presurice, corte, soldé, perfore, pulverice o exponga estos recipientes al calor, llamas, chispas, electricidad estática u otras fuentes de ignición; estos pueden explotar y causar lesiones o muertes. Los recipientes vacíos deben ser drenados completamente y desechados apropiadamente”<sup>49</sup>.*

<sup>48</sup> T3QUIMICA. *Isopropanol*. [En línea]. 2007 [Citado 2013-01-01] Disponible en: [http://www.t3quimica.com/pdfs/8i\\_isopropanol.pdf](http://www.t3quimica.com/pdfs/8i_isopropanol.pdf)

<sup>49</sup> PROQUIMSA. *N-butanol*. [En línea]. [Citado 2013-01-02]. Disponible en: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hs\\_butanol.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hs_butanol.pdf)

**n-Hexano**

Formula molecular	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
Densidad	0,66 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
Soluble en	H <sub>2</sub> O 0,0095g/l (20°C)
Punto de ebullición	69°C
Temperatura de ignición	240°C
Molaridad	86.18 g/mol

Tabla 3.4.: Ficha de dato de seguridad de n-Hexano

Fuente: MERCK.(2005). Reactivos y Productos Químicos. pag. 570.

*“Es un liquido fácilmente inflamable. Irrita la piel. Nocivo: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación. Posible riesgo de perjudicar la fertilidad. Nocivo si se ingiere puede causar daño pulmonar. La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo. Tóxico para los órganos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático”<sup>50</sup>.*

**Metil Etil Ketona**

Formula molecular	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O
Densidad	0,805 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
Soluble en	H <sub>2</sub> O 292gr/l (20°C)
Punto de ebullición	79,6°C
Temperatura de ignición	514°C

Tabla 3. 5.: Ficha de dato de seguridad de Metil Etil Ketona.

Fuente: MERCK. (2005). Reactivos y Productos Químicos.

*“Es un liquido irritante de ojos y mucosas. Puede causar anestesia, náuseas, vómitos, dolor de cabeza y pérdida de la conciencia. Afecta al sistema nervioso central y periférico. El contacto prolongado con líquido puede causar lesiones a la*

<sup>50</sup> ANALYTYKA. *N-hexano*. [En línea]. [Citado 2013-01-02]. Disponible en: <http://www.analytyka.com.mx/spanish/FDS/H/142063.htm>

*piel. Una sobreexposición a vapores del producto, o la absorción percutánea de cantidades significantes, así como, la ingestión del producto, tienen un efecto tóxico sobre el sistema nervioso central "Narcosis", caracterizado por dolor de cabeza, vértigo, náuseas, pérdida de la coordinación. La inhalación continuada o la ingestión, pueden causar inconsciencia y la muerte”<sup>51</sup>.*

Las pruebas que se realizaron fueron a nivel laboratorio, fue necesario la adquisición de algunos instrumentos (ver figura 3.3.), se describe en la tabla 3.6., también se realizó la adaptación de otra herramientas para cumplir con el proceso que se estudia.

DESCRIPCIÓN	PRESENTACIÓN	PESO	CANTIDAD
Vaso de cristal	2000 ml	450,5 gr	1
Vaso de cristal	1000 ml	258,4 gr	1
Vaso cónico	2000 ml	312,3 gr	1
Vaso de cristal	50 ml	33,8 gr	1
Vaso de cristal	1000 ml	100,8 gr	1
Balón de destilación con corcho	500 ml	287,2 gr	1
Vaso plástico de 150 ml	150 ml	12,4 gr	1
Jara plástica	1000 ml	104,4 gr	1
Pipetas graduadas	10 ml	24,8 gr	2
Embudo plástico		22,5 gr	1
Termómetro de -20 °C a 200 °C	200 °C		4
Cono grande	2000 ml	38.3 gr	1
Cono pequeño	800 ml	33.1 gr	1
Mascarilla con filtro químico			1
Balanza digital			1
Ph digital			1
Tubo refrigerante			1

Tabla 3.6. Materiales e insumos para regeneración de aceite.

<sup>51</sup> DIDEVAL. *Metil Etil Cetona*. [En línea]. [Citado 2013-01-02] Disponible en: <http://www.dideval.com/pdf/seguridad/MEK.pdf>



Figura 3.3. Materiales de laboratorio.

### 3.3. Extracción de la base aceitosa mediante el método del solvente, en el laboratorio

Previo a realizar las pruebas a nivel de laboratorio se analizó la procedencia del aceite usado que se tienen para realizar el proceso, observar figura 3.4. Si se desea optimizar la regeneración de aceites lubricantes usados, es necesario mejorar la forma de separar los aceites de diferentes tipos, de motor, de caja de cambios, de diferencial e hidráulico, así como evitar adicionar a estos combustibles o agua, esto depende del lugar donde se los almacena. Este no es el caso de la recuperación de aceite, por lo tanto, se toma como aceite muestra el mismo que llega a la planta, sin haber sido destilado y sin adiciones de ninguna índole.

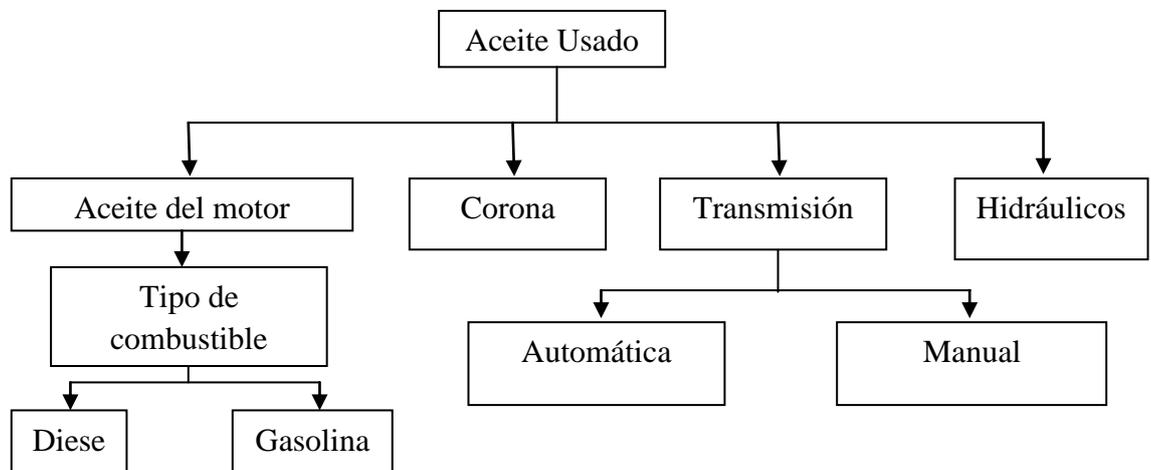


Figura 3.4. Procedencia del aceite lubricante usado.

La cantidad de solvente empleado también es un factor importante, de este depende la cantidad de residuos que se separaran, de igual manera e importancia la combinación de los mismos en proporción. La búsqueda del punto de equilibrio en la combinación de los solventes es amplia ya que al combinar proporciones derivamos una cantidad enorme de posibles mezclas.

La primera prueba se la empleo 100ml de aceite usado al cual se le agrega el 10% de solvente. Lo que se observó al mezclar el aceite usado con cada uno de los solventes fue que se formó, pero no hubo separación o sedimentación de ninguna partícula debido a la baja concentración del solvente en el aceite usado. Observar la tabla 3.7.

Aceite usado	Solvente	% Solvente	Total	Separación
100ml	2-Propanol	10%	110ml	No
100ml	1-Butanol	10%	110ml	No
100ml	MEK	10%	110ml	No

Tabla 3.7. Prueba piloto en concentración baja de solventes.

La reacción visible de la mezcla después de haber batido por 15 minutos es la espuma que se genera pero no con todos los solventes, solo con el 2-Propanol. A pesar de esto no se logró la sedimentación de lodo, se atribuye a una baja concentración del solvente. Observar figura 3.5.

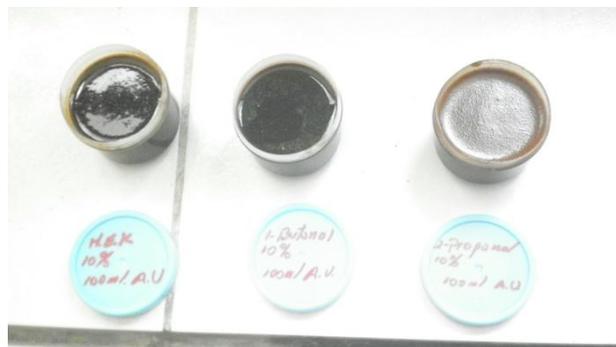


Figura 3.5. Reacción del aceite usado con el solvente.

Después de varias pruebas e intentos con diferentes proporciones de los solventes y combinando entre ellos, sucedió lo que describió JP. Martins (1997), quien demostró que “0,25 aceite de desecho, 0,35 n-Hexano, 0,4 y compuesto polar (80% de 2-

*Propanol y 20% de 1-Butanol)* es un aspecto económico del proceso de extracción-floculación en la re-refinación de aceites usados<sup>52</sup>. En la tabla 3.8. observaremos la relación indicada:

<b>Aceite Usado</b> <b>Solvente</b>	<b>50ml</b> <b>AU</b>	<b>100ml</b> <b>AU</b>	<b>300ml AU</b>	<b>500ml</b> <b>AU</b>
35% n-Hexano	70ml	140ml	420ml	700ml
32% 2-Propanol	64ml	128ml	384ml	640ml
8% 1-Butanol	16ml	32ml	96ml	160ml
25% Aceite usado.	50ml	100ml	300ml	500ml
<b>Total</b>	<b>200ml</b>	<b>400ml</b>	<b>1200ml</b>	<b>200ml</b>

Tabla 3.8. Relación solvente aceite usado, según JP Martins.

Antes de llegar a determinar el protocolo a seguir para la aplicación de los solventes y tomar una muestra en la cual no se tenga ninguna complicación al manejo y uso de los mismos se desarrollaron pruebas en las proporciones que se pueden observar a continuación en la tabla 3.9.

<b>Prueba #</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	
	<b>10/11/12</b>		<b>29/11/12</b>		<b>26/12/12</b>		<b>27/12/12</b>		<b>10/01/13</b>	
<b>ELEMENTO</b>	ml	gr								
<b>n-Hexano</b>	70	46,7	140	95,3	420,0	271,8	420	273,6	420	278,7
<b>2-Propanol</b>	64	48,4	120,8	96,1	384,0	296,9	384	293,5	384	293,8
<b>1-Butanol</b>	16	12,8	32	25,3	96,0	79,8	95	74,4	140	109,6
<b>M.E.K.</b>			40	30,8	40,0	29,8	100	79,4	100	73,8
<b>Aceite usado</b>	50	40,6	100	81,2	300,0	260,3	300	263,9	300	267,4
<b>Suman</b>	200	148,5	432,8	328,7	1240	938,6	1299	984,8	1344	1023,3

Tabla 3.9. Resumen pruebas realizadas, equivalencia ml y gramos.

<sup>52</sup>J.P. Martins, *The extraction-floculation re-refining lubricating oil processes using ternary organic solvents*, Ind. Chem. Res.,36, 1997, pp. 3854-3858.

Después de 5 ensayos se llegó a determinar la forma en la cual se debe trabajar tratando de obtener la mayor cantidad de aceite reciclado con un bajo consumo de solventes. En la siguiente tabla 3.10. se puede verificar el último ensayo realizado con las cantidades específicas de aceite usado y solvente.

Prueba #	6		7	
	26/01/13		01/02/13	
ELEMENTO	ml	gr	<i>ml</i>	<i>gr</i>
n-Hexano	700	462,2	<b>700</b>	<b>462,5</b>
2-Propanol	640	488,2	<b>640</b>	<b>492,8</b>
1-Butanol	160	129,8	<b>160</b>	<b>118</b>
M.E.K.				
Aceite usado	500	430,2	<b>500</b>	<b>434,5</b>
Suman	2000	1510,4	<b>2000</b>	<b>1507,8</b>

Tabla 3.10. Detalle últimas pruebas método del solvente.

En la regeneración de aceite usado a través de solventes es importante tener una relación directa entre mililitros y gramos, con esto se facilita la manipulación. En conformidad con lo actuado en el laboratorio el procedimiento a seguir para aplicar este método esta descrito de la siguiente manera.

- Se miden 500ml de aceite usado que da un peso de 430,2 gramos.



Figura 3.6. Peso de 500ml de Aceite Usado.

- Se miden 700ml de n-Hexano, con un peso de 462,5 gr.



Figura 3.7. Peso de 700ml de n-Hexano.

- Se mide 640ml de 2-Propanol, con un peso de 492,8gr.



Figura 3.8. Peso de 640 ml de 2-Propanol.

- Se mide 160 ml de 1-Butanol equivalente a 118gr de peso, observar la figura 3.9.



Figura 3.9. Peso de 160 ml de 1-Butanol.

- Se bate la mezcla por 15 minutos a una velocidad de 300 rpm, observar figura 3.10.



Figura 3.10. Batido de la mezcla por 15 minutos.

- Se coloca la mezcla aceite usado-solvente en recipientes cónicos, para ayudar a la sedimentación, ver figura 3.11.



Figura 3.11. Mezcla solventes aceite usado, en depósito cónico.

- Después de batir el residuo que queda en el vaso usado es pesado. Observar la siguiente figura 3.12.



Figura 3.12. Peso del vaso usado para mezclar, con residuos.

- Se pesa el vaso sin residuos, observar la siguiente figura 3.13.



Figura 3.13. Peso del vaso sin residuos.

### 3.4. Recuperación del solvente

Después de haber dejado sedimentar la mezcla por 24 horas se coloca en la jarra plástica donde se medirá y pesará, esto con la finalidad de conocer y determinar la efectividad del proceso. Para recuperar el solvente se ejecutó en varios pasos por la falta de un balón de destilación superior a los 500ml.

- Se pesa 1000ml de la mezcla aceite usado-solvente, de acuerdo a la capacidad de la jarra plástica. Observar figura 3.14.



Figura 3.14. Peso de aceite-solvente 1000ml después de 24 horas.

- Se pesa la jarra vacía con la finalidad de determinar el peso del solvente que queda adherido a la misma. Observar la siguiente figura 3.15.



Figura 3.15. Solvente adherido a jarra.

- Se pesa 900 ml de la mezcla aceite usado-solvente, esto es por la capacidad de la jarra plástica. Observar figura 3.16.

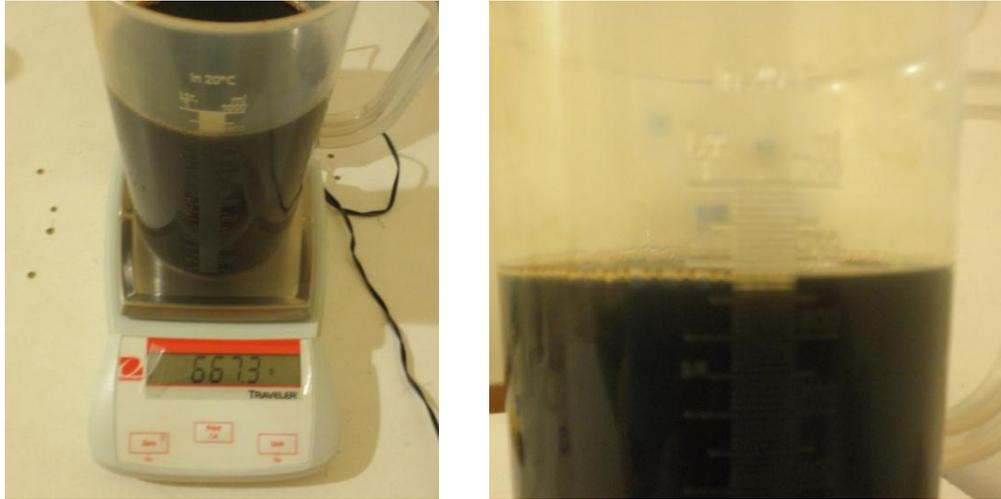


Figura 3.16. Peso de aceite-solvente 880ml después de 24 horas.

Para empezar a destilarse se usaron 300ml, esto es por la capacidad del balón de destilación, que no es mayor a 500ml y la reacción de la mezcla aceite-solvente.

- Se pesa 300ml colocados en la jarra de plástico, observar figura 3.17.



Figura 3.17. Peso de la mezcla aceite solvente para destilar.

- Se pesa el balón de destilación vacío, contiene un corcho. Observar la figura 3.18.



Figura 3.18. Peso balón de destilación.

- Se armó el equipo de destilación que consiste en el balón de destilación, pinzas metálicas para la sujeción del balón de destilación, tubo enfriador, tapón con termómetro, manquera de hule para la entrada y salida del agua, mechero bunsen, cilindro de gas, vaso cónico de 1200ml para la recepción del solvente. Observar figura 3.19.

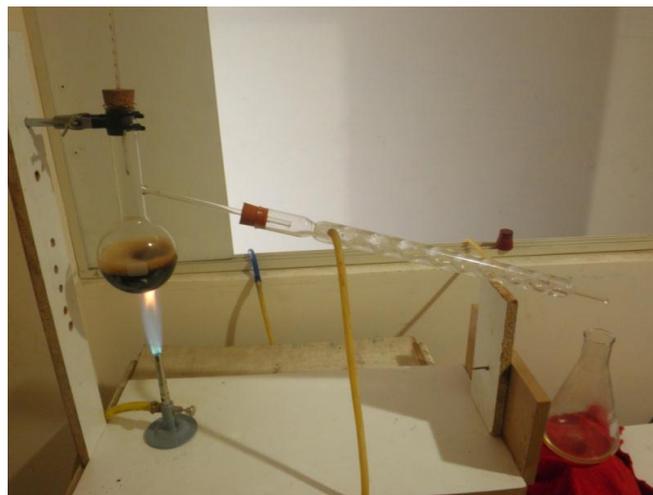


Figura 3.19. Sistema de destilación armado.

- Se encendió el mechero, se eleva la temperatura, cuando llega a 40 °C, la mezcla burbujea de tal manera que por el tubo refrigerante de destilación se observó el solvente recuperado que empieza a circular, conforme se va elevando la temperatura hasta alcanzar los 100°C, se va rescatando el solvente que se encuentra diluido en la mezcla. Observar figura 3.20.



Figura 3.20. Evaporación solvente.

- Hay que tener cuidado en la cantidad de calor que se le proporciona a la mezcla ya que este al ser un hidrocarburo sumado a lo volátil de los solventes se puede producir una ebullición violenta y la mezcla sería expulsada por el tubo enfriador. De tal manera que el solvente recuperado sería mezclado con esto y el proceso tendría que repetirse. Observar figura 3.21.



Figura 3.21. Recuperación fallida.

- Terminada la destilación se obtiene solvente, figura 3.22.



Figura 3.22. Solvente recuperado.

- El producto final es el aceite reciclado, observar figura 3.23.

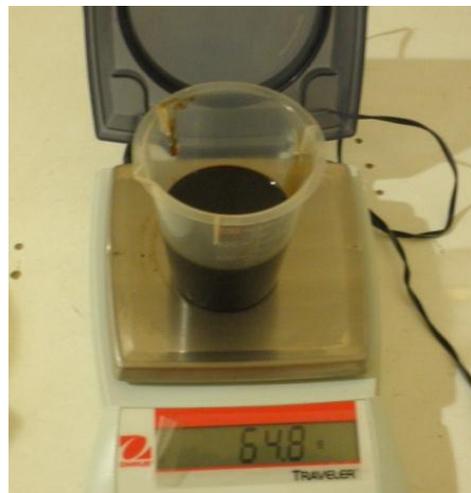


Figura 3.23. Aceite reciclado.

- Se pesa el balón de destilación con la finalidad de determinar la pérdida por adherencia, observar figura 3.24.



Figura 3.24. Peso del balón con residuo de aceite.

- Se pesa el residuo que queda en el vaso del aceite reciclado, observar figura 3.25.



Figura 3.25. Peso residuo vaso de aceite reciclado.

Como ya se dijo anteriormente por la capacidad del balón de destilación se realizaron seis destilaciones, el detalle se lo puede observar en la tabla 3.11. La cantidad de aceite recuperado después de realizar las destilaciones es de 408 gramos que vienen a ser 500 ml de aceite reciclado, los valores medidos nos dan una variación del 8%, esto es debido a la medición del mismo, se da por la capilaridad que se genera con líquidos acuosos.

### 3.5. Evaluación base aceitosa

La base aceitosa que se obtiene del proceso de regeneración de lubricantes usados, aplicando solventes está determinada a ser una de las mejores que se pueda llegar a recuperar. Como ya se había dicho la calidad de la base aceitosa depende mucho del índice de viscosidad que presente, entre mayor sea el índice de viscosidad, mayor es la calidad de base aceitosa. Aunque debe cumplir con los demás requisitos que se encuentran citados en la norma NTEINEN 2019:1995, observar tabla 3.13. Los valores que se pueden ver en la tabla 3.12 son los presentados en el informe número 13-02-03-P-1 el cual está disponible en el anexo 10.

ENSAYO	UNIDAD	MÈTODO	RESULTADO
Viscosidad cinemática a 100 °C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	7,55
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,200
Cromo	mg/kg	ASTMD 5056/PNE/DPEC/A/SM3111B	<0,400
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,900
Zinc	mg/kg	ASTMD 5056/APHA3111B	4,896
Índice de viscosidad	-	PNE/DPEC/P/ASTM D 2270	108
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 92	153,2
Punto de vértigo	°C	ASTM D-97	<-22
Color ASTM	U. color	ASTM D 1500	8
Cenizas	%P	ASTM D 482	0,350
Agua por destilación	%V	ASTM D 95	0,050

Tabla 3.12. Informe de resultados aceite re-refinado. N° 13-02-3-P-1.

Fuente: Universidad Central del Ecuador. (2012). Informe de resultados petróleos. N°13-02-03-P-1 Quito.

Número de destilaciones	1		2		3		4		5		6	
	gr	ml										
Aceite con solvente	232,6	300	234,2	300	232,9	300	231,2	300	231,6	300	253,2	340
Aceite recuperado	64,8	80	68,9	85	70,2	85	65,7	80	64,9	80	73,5	90
Solvente recuperado	158,6	225	121,3	165	118,7	160	159,0	210	155,8	220	172,1	230
Residuo balón destilación	0,3		0,4		0,4		0,2		0,2		0,2	
Residuo en jarra	1,3		2,3		2,3		2,2		2,6		1,5	

Tabla 3.11. Destilaciones realizadas.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	LIVIANA		MEDIA		PESADA		CILINDRO PARAFINICO		VALOR MEDIDO	METODO DE ENSAYO
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 100 °C	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	7,55	ASTM D 445
ÍNDICE DE VISCOSIDAD		92	--	95	--	95	--	70	--	108	ASTM D 2270
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	185	--	210	--	250	--	250	--	153,2	ASTM D 92
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	--	-12		-8		-8		-3	<-22	ASTM D 97
COLOR ASTM	U. COLOR		2		3,5		6,5		--	8	ASTM D 1500
CONTENIDO DE CENIZAS			0,1		0,1		0,1		0,1	0,350	ASTM D 482
CONTENIDO DE AGUA	% V		0,01		0,01		0,01		0,01	0,05	ASTM D 95

Tabla 3.13. Comparación resultados con norma NTE INEN 2029:1995.

### 3.5.1. Viscosidad.

Para el uso automotriz se utiliza una tabla de viscosidad creada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices SAE (2009) basada en la viscosidad cinemática (cSt) a 100 °C para la temperatura de operación y una tabla especial de viscosidad en bajas temperaturas para cuidar el motor en el momento del arranque en frío (se define “frío” como temperaturas debajo de 20°C). De acuerdo a la tabla 3.14.<sup>53</sup>, los siguientes aceites tienen una viscosidad SAE 40 a 100 °C. El comportamiento en calor y frío depende de su índice de viscosidad y aditivos de que mejoran su punto de fluidez.

Viscosidad SAE	Viscosidad Mínima cSt a 100° C	Viscosidad Máxima cSt a 100° C
0W-40	12,5	16,29
5W-40	12,5	16,29
10W-40	12,5	16,29
15W-40	12,5	16,29
20W-40	12,5	16,29
25W-40	12,5	16,29
40	12,5	16,29

Tabla 3.14. Rangos de viscosidad.

Tomado de: WIDMANINTERNATIONAL SRL. *Que es la viscosidad.* <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>, Bolivia 2009.

### 3.5.2. Metales pesados, cromo, plomo, cadmio, zinc

Como ya se ha mencionado de la degeneración del aceite lubricante, al ocurrir se tiene una significativa cantidad de metales pesados los cuales están presentes en el aceite usado. En la tabla 3.15. Se observó que la presencia de zinc aumentado, esto sucede porque este metal está contenido dentro del aceite y al ser tratado se separa quedando libre y en gran cantidad. El informe está disponible en el anexo 10.

<sup>53</sup> WIDMAN International SRL. *Que es la viscosidad.* [En línea]. 2009 [Citado 2013-01-10]. Disponible en: <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>.

ENSAYO	UNIDAD	MÈTODO	RESULTADO
Viscosidad cinemática a 100 °C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	7,55
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,200
Cromo	mg/kg	ASTMD 5056/PNE/DPEC/A/SM3111B	<0,400
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/APHA 3111 B	<0,900
Zinc	mg/kg	ASTMD 5056/APHA3111B	4,896
Índice de viscosidad	-	PNE/DPEC/P/ASTM D 2270	108
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 92	153,2
Punto de vértigo	°C	ASTM D-97	<-22
Color ASTM	U. color	ASTM D 1500	8
Cenizas	%P	ASTM D 482	0,350
Agua por destilación	%V	ASTM D 95	0,050

Tabla 3.15. Informe de resultados aceite re-refinado. N° 13-02-3-P-1.

Tomado de: Universidad Central del Ecuador. (2012). Informe de resultados petróleos. N°13-02-03-P-1 Quito, PR: Autor.

### 3.6. Evaluación residuos.

Los residuos que se obtienen son producto de la sedimentación tras 24 horas de haber sido mezclado el aceite usado con los solventes, teóricamente se separa los aditivos degenerados por el uso del aceite, se toma en cuenta que la cantidad de sedimentos recuperados solo serán los obtenidos en las últimas pruebas.

#### 3.6.1. Metales pesados, cromo, plomo, cadmio, zinc

Tras el proceso que se efectúa se obtendrá un solo tipo de desecho, el cual no es tan perjudicial como el que se genera por otros métodos, aunque se tiene una gran

concentración de los metales, como se observa en la tabla 3.16., se puede ver que hay una gran cantidad de zinc presente en el residual, estos valores fueron tomados del informe N° 13-02-14-A-2, observar el anexo 11.

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>INCERTIDUMBRE U=± (K=2)</b>
Cadmio*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111B	<2,000	21,09%
Cromo total	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111B	2,128	12,13%
Plomo*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111B	147,938	22,68%
Zinc*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111B	670,977	26,20%

Tabla 3.16. Resultados análisis de metales pesados en residuos de la regeneración.

Tomado de: Universidad Central del Ecuador. (2013). Informe de resultados petróleos. Quito, N° 13-02-14-A-2

### 3.7. Evaluación de rendimientos y costos del proceso

Para poder llegar a realizar la recuperación por el método del solvente se efectuaron siete pruebas exactamente, de las cuales cinco fueron necesarias para fijar un protocolo, observar falencias, reacciones químicas, cantidad de sedimentos, calidad del producto final, siendo así necesarias para poder satisfacer las inquietudes del autor ante esta alternativa de regeneración de aceite usado. En primer lugar para poder realizar la evaluación económica del proceso, es necesario citar las cantidades de solventes utilizados. Observar la tabla 3.17.

ELEMENTO	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4		Prueba 5		Prueba 6		Prueba 7		Total	
	ml	gr	ml	gr	ml	gr										
n-Hexano	70	46,70	140	95,30	420	271,80	420	273,60	420	278,70	700	462,20	700	462,50	2870	1890,80
2-Propanol	64	48,40	121	96,10	384	296,90	384	293,50	384	293,80	640	488,20	640	492,80	2617	2009,70
1-Butanol	16	12,80	32	25,30	96	79,80	95	74,40	140	109,60	160	129,80	160	118,00	699	549,70
M.E.K.		0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00					0	0,00
Aceite usado	50	40,60	100	81,20	300	260,30	300	263,90	300	267,40	500	430,20	500	434,50	2050	1778,10
<b>Total</b>	200	148,50	393	297,90	1200	908,80	1199	905,40	1244	949,50	2000	1510,40	2000	1507,80	8235,80	6228,30
<b>Fecha</b>	<b>09/11/2012</b>		<b>28/11/2012</b>		<b>25/12/2012</b>		<b>26/12/2012</b>		<b>09/01/2013</b>		<b>25/01/2013</b>		<b>31/01/2013</b>			

Tabla 3.17. Cantidad de solvente utilizado.

- Se efectuó el cálculo para determinar el costo del miligramo de cada uno de los solventes. Observar tabla 3.18. y 3.19. Las facturas de los costos de los solventes se encuentran en el anexo 12, 13.

<b>Solvente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>	<b>Costo por ml</b>
Isopropanol o 2-Propanol	4 LITROS	23,75	95,00	0,024
Metil Etil Ketona	1 LITRO	84	84,00	0,084
Hexano	4 LITROS	18,76	75,04	0,019
Butanol	4 LITROS	33,5	134,00	0,034
<b>TOTAL</b>			<b>388,04</b>	<b>0,16</b>

Tabla 3.18. Costo de reactivos en ml.

<b>SOLVENTE</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>	<b>Cantidad ml</b>	<b>Cantidad gr</b>	<b>Costo gr</b>
Isopropanol o 2-Propanol	4 LITROS	23,75	95,00	4000	3088	0,031
Metil Etil Ketona	1 LITRO	84	84,00	1000	760	0,111
Hexano	4 LITROS	18,76	75,04	4000	2640	0,028
Butanol	4 LITROS	33,5	134,00	4000	3160	0,042
<b>TOTAL</b>			<b>388,04</b>	<b>13000</b>	<b>9648</b>	<b>0,212</b>

Tabla 3.19. Costo de reactivos en gr.

- El costo de la primera prueba es de: 3.37 dólares, con 150ml de solventes en diferente proporción y 50ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 1			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	70,00	1,31	46,70	1,33
2-Propanol	64,00	1,52	48,40	1,49
1-Butanol	16,00	0,54	12,80	0,54
M.E.K.	0,00	0,00	0,00	0,00
Aceite usado	50,00	0,00	40,60	0,00
<b>Total</b>	200,00	<b>3,37</b>	148,50	<b>3,36</b>
<b>Fecha</b>	<b>09/11/2012</b>			

Tabla 3.20. Costos prueba N°1, con 50 ml de aceite usado.

- El costo de la segunda prueba es de: 6.57 dólares, con 300ml de solventes en diferente proporción y 100ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 2			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	140,00	2,63	95,30	2,71
2-Propanol	120,80	2,87	96,10	2,96
1-Butanol	32,00	1,07	25,30	1,07
M.E.K.	0,00	0,00	0,00	0,00
Aceite usado	100,00	0,00	81,20	0,00
<b>Total</b>	392,80	<b>6,57</b>	297,90	<b>6,74</b>
<b>Fecha</b>	<b>28/11/2012</b>			

Tabla 3.21. Costos prueba N°2, con 100 ml de aceite usado.

- El costo de la tercera prueba es de: 20,22 dólares, con 900ml de solventes en diferente proporción y 300ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 3			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	420,00	7,88	271,80	7,73
2-Propanol	384,00	9,12	296,90	9,13
1-Butanol	96,00	3,22	79,80	3,38
M.E.K.	0,00	0,00	0,00	0,00
Aceite usado	300,00	0,00	260,30	0,00
<b>Total</b>	<b>1200,00</b>	<b>20,22</b>	<b>908,80</b>	<b>20,24</b>
<b>Fecha</b>	<b>25/12/2012</b>			

Tabla 3.22. Costos prueba N°3, con 300 ml de aceite usado.

- El costo de la cuarta prueba es de: 20,18 dólares, con 900 ml de solventes en diferente proporción y 300 ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 4			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	42,00	7,88	273,60	7,78
2-Propanol	384,00	9,12	293,50	9,03
1-Butanol	95,00	3,18	74,40	3,15
M.E.K.	0,00	0,00	0,00	0,00
Aceite usado	300,00	0,00	263,90	0,00
<b>Total</b>	<b>1199,00</b>	<b>20,18</b>	<b>905,40</b>	<b>19,96</b>
<b>Fecha</b>	<b>26/12/2012</b>			

Tabla 3.23. Costos prueba N°4, con 300 ml de aceite usado.

- El costo de la quinta prueba es de: 21,69 dólares, con 900 ml de solventes en diferente proporción y 300 ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 5			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	420,00	7,88	278,70	7,92
2-Propanol	384,00	9,12	293,80	9,04
1-Butanol	140,00	4,69	109,60	4,65
M.E.K.	0,00	0,00	0,00	0,00
Aceite usado	300,00	0,00	267,40	0,00
<b>Total</b>	<b>1244,00</b>	<b>21,69</b>	<b>949,50</b>	<b>21,61</b>
<b>Fecha</b>	<b>09/01/2012</b>			

Tabla 3.24. Costos prueba N°5, con 300 ml de aceite usado.

- El costo de la sexta prueba es de: 33.69 dólares, con 1500 ml de solventes en diferente proporción y 500 ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 6			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	700,00	13,13	462,20	13,14
2-Propanol	640,00	15,20	488,20	15,02
1-Butanol	160,00	5,36	129,80	5,50
M.E.K.		0,00		0,00
Aceite usado	500,00	0,00	430,20	0,00
<b>Total</b>	<b>2000,00</b>	<b>33,69</b>	<b>1510,40</b>	<b>33,66</b>
<b>Fecha</b>	<b>25/01/2012</b>			

Tabla 3.25. Costos prueba N°6, con 500 ml de aceite usado.

- El costo de la séptima prueba es de: 33.9 dólares, donde se hizo la experiencia con 1500 ml de solventes en diferente proporción y 500 ml de aceite usado. Observar la siguiente tabla.

Elemento	Prueba 7			
	ml	Costo	gr	Costo
n-Hexano	700,00	13,13	462,50	13,15
2-Propanol	640,00	15,20	492,80	15,16
1-Butanol	160,00	5,36	118,00	5,00
M.E.K.		0,00		0,00
Aceite usado	500,00	0,00	434,50	0,00
<b>Total</b>	<b>2000,00</b>	<b>33,69</b>	<b>1507,80</b>	<b>33,31</b>
<b>Fecha</b>	<b>31/01/2012</b>			

Tabla 3.26. Costos prueba N°7, con 500 ml de aceite usado.

- En total el costo de las pruebas realizadas es de 139,41 dólares. Observar la siguiente tabla.

Pruebas	Costo total	
	ml	gr
No. 1 (09/11/2012)	3,37	3,36
No. 2 (28/11/2012)	6,57	6,74
No. 3 (25/12/2012)	20,22	20,24
No. 4 (26/12/2012)	20,18	19,96
No. 5 (09/01/2013)	21,69	21,61
No. 6 (25/01/2013)	33,69	33,66
No. 7 (31/12/2013)	33,69	33,31
<b>TOTAL</b>	<b>139,41</b>	<b>138,88</b>

Tabla 3.27. Costos totales de las pruebas. Fuente: El Autor.

- Los instrumentos que se han cotizado para la realización de las prácticas de laboratorio están citados en la proforma. Se trabajó con instrumentos prestados de la planta del Municipio, por tal razón solo se requirió la proforma para obtener un valor aproximado del reciclaje. Los resultados se demuestran en la siguiente tabla.

<b>COSTOS Y MATERIALES UTILIZADOS</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>CANT</b>	<b>COSTO</b>	<b>TOTAL</b>
Vaso precipitación, 2000ml	1	25	25,00
Vaso precipitación, 1000ml	1	19	19,00
Matraz Erlenmeyer, 1000ml	1	20	20,00
Vaso precipitación, 50ml	1	4	4,00
Vaso precipitación 250ml	1	10	10,00
Balón destilación de 250ml	1	35	35,00
Vaso 150ml plástico	1	4	4,00
Pipeta graduada 10ml	2	3	6,00
Embudo plástico	1	3	3,00
Termómetro -20:200 de mercurio	4	5	20,00
Jarra de 1000ml, plastica	1	8	8,00
Ph metro de bolsillo	1	25	25,00
tubo refrigerante	1	35	35,00
Tubo falcón 50 ml	20	0,4	8,00
Envase estéril 50ml	20	0,4	8,00
Balón de destilación 500ml	1	55	55,00
Mechero bunsen	1	25	25,00
Papel ph, tubo/100 laminas	1	10	10,00
Guantes de reexaminación, caja 100	1	10	10,00
Pinza metálica universal	1	13	13,00
Manguera de látex, metro	2	5	10,00
<b>TOTAL</b>		314,8	<b>353,00</b>

Tabla 3.28. Costo material de laboratorio.

Fuente: Proforma 01520-03

- El resultado nos indica que la regeneración de aceite usado por el método del solvente tiene un costo de 190 dólares, (tabla 3.22), esto sin contar los gastos

administrativos y herramientas complementarias para este proceso. En suma, el costo final de 222.07 dólares, que se demuestra en la tabla 3.23.

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad recuperada</b>	<b>Costo unitario por ml</b>	<b>Costo total por gr</b>
BASE ACEITOSA	3430	0,047500496	190,00
<b>TOTAL</b>			190,00

Tabla 3.29. Costo regeneración de un galón de aceite usado.

Al final del proceso según la evaluación económica y tomando en cuenta todos los parámetros tangibles para la recuperación de aceite base a través del método del solvente, se tiene claro que para recuperar un galón de base aceitosa se invierte \$222.07 dólares americanos, que se demuestra a continuación:

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Mano de Obra	1	2,65	2,65
Materia Prima (Aceite lubricante usado)	1 gr	0,00	0,00
Materiales	1 gr	26,48	26,48
Reactivos	1 gr	190,00	190,00
Depreciación	1 gr	2,94	2,94
<b>TOTAL</b>			222,07

Tabla 3.30. Costo total de regeneración.

## CAPÍTULO IV

### COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA MÉTODO DEL SOLVENTE.

Como parte final de la investigación desarrollada en los capítulos anteriores, en este apartado se compara los datos de los dos procesos y se valora con las exigencias de la norma NTE INEN 2029:1995, esto en cuanto a la base aceitosa obtenida. Por otro lado se analizaron los residuos subproducto de la regeneración, lodo ácido, lodo arcilloso frente al lodo obtenido por el método del solvente. Para terminar se proponen ideas para la utilización de los lodos, los cuales deberán ser manejados de la forma menos dañina para la conservación del medio ambiente.

#### 4.1. Comparación de la base aceitosa obtenida a través del método ácido-arcilloso y del solvente.

La base aceitosa obtenida por el método del solvente, según el informe es mejor en los siguientes parámetros:

- Viscosidad cinemática: 7,55 cSt
- Índice de viscosidad: 108
- Punto de inflamación: 153,2 °C
- Punto de escurrimiento: < -22 °C
- Color ASTM: 8 U. Color
- Contenido de cenizas: 0,350
- Contenido de agua: 0,05 %V

En cuanto al método ácido arcilloso, los resultados son:

- Viscosidad cinemática: 3,88cSt
- Índice de viscosidad: 77
- Punto de inflamación: 147,1 °C

- Punto de escurrimiento: < -22 °C
- Color ASTM: 4,5 U. Color
- Contenido de cenizas: 0,147
- Contenido de agua: 0,05%V

Los valores que se han citado son los que han sido entregados en los informes N° 12-10-02-P-1 método ácido-arcilloso y N°13-02-03-P-1 método de solvente. Para facilidad de comprensión se ha elaborado la tabla 4.1. Donde se puede observar la comparación entre los resultados de los ensayos y la norma que está vigente y rige en cuanto a las bases aceitosas vírgenes y re-refinadas que se comercializan en el Ecuador. Además de todo en los mismos informes se puede apreciar la cantidad de metales pesados presentes en el aceite reciclado.

<b>METALES PESADOS EN ACEITE RECICLADO Y RESIDUOS</b>					
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Aceite usado</b>	<b>Método</b>	
				<b>Ácido-arcilloso</b>	<b>Solventes</b>
<b>CADMIO</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D-5863</b>	0,070	<0,070	<0,200
<b>CROMO</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D-5056</b>	<0,400	<0,400	<0,400
<b>PLOMO</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D-5863</b>	<0,900	<0,900	<0,900
<b>ZINC</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D-5056</b>	0,398	0,348	4,896

Tabla 4.2. Metales pesados presentes en base aceitosa.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	LIVIANA		MEDIA		PESADA		CILINDRO PARAFINICO		MÉTODO DE ENSAYO	MÉTODO ÁCIDO ARCILLOSO	MÉTODO DEL SOLVENTE
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX			
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 100°C	cSt	2	6,1	>6,1	21,1	>21,1	40,1	>40,1	55	ASTM D 445	3,88	7,55
ÍNDICE DE VISCOSIDAD		92	--	95	--	95	--	70	--	ASTM D2270	77	108
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	185	--	210	--	250	--	250	--	NTE INEN 808	147,1	153,2
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	--	-12		-8		-8		-3	NTE INEN 1982	-19	<-22
COLOR ASTM	U.COLOR		2		3,5		6,5		--	ASTM D1500	4,5	8
CONTENIDO DE CENIZAS			0,1		0,1		0,1		0,1	ASTM D482	0,147	0,350
CONTENIDO DE AGUA	% V		0,01		0,01		0,01		0,01	ASTM D 95	0,05	0,05

Tabla 4.1. Comparación resultados métodos de reciclaje con la norma NTE INEN 2029:1995.

#### 4.2. Comparación de los residuos obtenidos a través del método ácido-arcilloso y el método del solvente

En el informe N° 12-10-03-P-1 del lodo o borra ácida, N° 12-10-03-P-2 del lodo o borra arcillosa, que se pueden apreciar en el anexo, estos se trasladaron para una mejor interpretación a la tabla 4.3., en donde se puede conocer que existe una buena concentración de metales pesados, siendo así; se comprueba que en el tratamiento químico donde se agrega el ácido sulfúrico, se ha logrado una gran cantidad de sedimentos con valores representativos de Cromo (Cr) y Zinc (Zn).

El lodo arcilloso muestra que la cantidad de Cromo (Cr) y Zinc (Zn), no es ácido ya que es el generado por la adhesión de tonsil, hidróxido de sodio y cal, esto es colocado para la neutralización de la acidez y buscando sedimentar la mayor cantidad de partículas floculantes aún existentes en el aceite.

<b>METALES PESADOS EN ACEITE RECICLADO Y RESIDUOS</b>					
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>LODO ÁCIDO</b>	<b>LODO ARCILLOSO</b>	<b>LODO SEDIMENTA DO</b>
<b>CADMIO</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D- 5863</b>	0,245	0,107	<0,020
<b>CROMO</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D- 5056</b>	54,183	1,469	12,13
<b>PLOMO</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D- 5863</b>	3,995	<0,900	15,572
<b>ZINC</b>	<b>mg/kg</b>	<b>ASTM D- 5056</b>	62,399	32,663	434,632

Tabla 4.3. Metales pesados presentes en los residuos.

### **4.3. Análisis técnico-económico de la regeneración de aceite usado.**

Para poder determinar el costo de los procesos de regeneración de aceites se debe tener un dato exacto de la cantidad de solventes empleados, así como de la cantidad de producto que se obtiene y los residuos que se generan, esto ya se revisó en los capítulos anteriores, de tal manera que solo se hará una comparación entre los procesos y sus costos de los capítulos analizados.

#### **Método ácido arcilloso.**

Según el diagrama de flujo del proceso de regeneración de aceites lubricantes usados los valores se han simplificado en la tabla 4.4., de 100 Kg de aceite usado se obtiene lo siguiente:

- Se sedimenta 0,5Kg.
- En la destilación se recupera 5 Kg de agua e hidrocarburos.
- En el tratamiento químico se adiciona 9,2 Kg de ácido sulfúrico.
- Se sedimenta 15Kg de lodo o borra acida.
- Se adiciona hidróxido de sodio, bentonita.
- Existen emisiones al agregar el hidróxido de sodio.
- Se pasa por un filtro prensa donde se recupera 25Kg de lodo.
- Se obtiene 63,7 Kg de aceite reciclado.

El costo de regeneración del aceite usado es de tres dólares con trece centavos \$4,70 por cada galón.

#### **Método del solvente**

Basándonos en los valores que se obtiene cuando se empezó a destilar el producto, esta corresponde a:

- Peso de la mezcla aceite-solvente después de batir: 1490gr
- Peso de la mezcla aceite solvente después de sedimentar 24 horas: 1454gr
- Peso del solvente recuperado : 885,5 gr
- Peso del aceite reciclado: 408gr
- Peso pérdida en la sedimentación: 10,1 gr
- Peso pérdida en medición, subprocesos de destilación: 24,4 gr
- Pérdida por vaporización en la destilación: 122,2 gr
- Peso borra o lodo obtenido de la sedimentación y adherencia a recipientes: 32,4 gr
- Peso mezcla aceite y solventes más el sedimento: 1486gr.
- Pérdida por evaporación en 24 horas: 4gr

El costo de regeneración de aceite es de doscientos veinte y dos dólares con siete centavos, \$ 222.07.

## CONCLUSIONES

Los aceites lubricantes son los encargados de disminuir el desgaste entre piezas mecánicas en los vehículos, la calidad de estos es importante para su vida útil, un buen aceite depende directamente de la calidad de base aceitosa de la cual fue fabricado, la aditivación de ésta hace que las cualidades se mejoren dando como resultado final alta lubricación, menor desgaste y mayor tiempo de vida de un motor o pieza a la cual se lubrique.

Los análisis de laboratorio aplicados a los productos y subproductos de regeneración planteados, transportados a la tabla 4.1. nos dicen que la viscosidad cinemática 7.55 cSt, el índice de viscosidad de 108, punto de inflamación 153.2°C, punto de escurrimiento-22°C, el color 8, el contenido de cenizas de 0,350 y contenido de agua de 0.05%V, permite estimar que el método del solvente presenta mejores características obtenidas con respecto al método ácido arcilloso, en viscosidad cinemática, índice de viscosidad, punto de ebullición y escurrimiento, siendo estas las principales características para determinar la calidad de base. Las propiedades de color, contenido de cenizas y agua superan los parámetros obtenidos por el método ácido arcilloso

La regeneración de aceite usado a través del método ácido arcilloso nos da dos subproductos, una brea o lodo ácido, cuyo manejo integral está limitado por su alta concentración de ácido sulfúrico y también el contenido de metales pesados, productos que de no ser tratados adecuadamente son nocivos para la salud de los seres vivos, personas, animales y plantas. Otro subproducto del proceso es una brea arcillosa, cuya manipulación es sencilla, si bien es cierto por medio de éste se separan metales pesados, esta no tiene problema de manipulación, por su acidez neutral, pudiendo ser secado y manejado como cualquier lodo. Esto frente a un lodo sedimentado subproducto de la regeneración por el método del solvente, presenta gran cantidad de metales pesados pero su manipulación puede ser similar a la brea o lodo arcilloso.

En cuanto a los costos de recuperación el método del solvente resulta 47 veces más costoso, 222.07 dólares frente a 4,70 dólares, por el método ácido arcilloso considerando el uso de químicos puros utilizados para las pruebas de laboratorio.

## **RECOMENDACIONES**

Debido al alto costo para la utilización del método del solvente, se recomienda una valoración con solventes grado industrial, previo a la gestión directa de permisos de importación y uso por parte del estado, para en tales condiciones se pueda tener una cuantificación real del costo de recuperación de la base aceitosa.

Si bien el análisis del método de recuperación del solvente mejora las condiciones de producto resultante, los residuales del proceso al igual que los del método ácido arcilloso mantienen alto grado de contaminantes, se sugiere realizar un estudio para la disposición final de los residuos subproducto de la obtención de la base aceitosa.

Los costos de tratamiento de los residuos subproducto de la regeneración de los aceites no se puede determinar sin antes realizar un estudio de cómo está compuesto, para de esta manera sugerir el destino final de cada uno de ellos, ya sea tratándolos de recuperar o llegando a neutralizarlos para evitar un daño al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR, Luisa, GUEVARA Daniel, NOVOA Jenny. (2007). *Combustibles alternativos partir de aceites usados con tratamientos de Limpieza*.
2. ASAMBLEA CONSTITUYENTE. *Constitución de la República del Ecuador*. Artículo 14, sección segunda Ambiente sano. Ecuador 2011
3. FIGEMPA. *Manejo ambientalmente adecuado de los desechos aceitosos en el Ecuador*. Tesis de ingeniería no publicada. Ecuador 2010. Universidad Central del Ecuador. Quito.
4. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Derivados del petróleo. Bases lubricantes para uso automotor. Requisitos*. Ecuador 1995 Primera edición.
5. MARTINS J.P., “The extraction-flocculation re-refining lubricating oil processes using ternary organic solvents,” *Ind. Chem. Res.*, 36, 1997.
6. MERCK. (2005). *Reactivos y Productos Químicos*.
7. MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Listado nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales*. Registro oficial N° 856. Acuerdo ministerial N° 142. Ecuador 2012
8. MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Ecuador 2011
9. MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. Ecuador 2011

10. MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión*. Ecuador 2011
11. MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros*. Registro oficial N° 439. Acuerdo ministerial N° 048. Ecuador 2011
12. MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 6ª Ed. Prentice-Hall Inc. México 2006
13. NACIONES UNIDAS. *Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento*. Decima reunión. Cartagena Colombia 17 al 21 de octubre 2011
14. PESANTEZ Jorge, VEINTIMILLA Daniel. *Análisis y diagnóstico del aceite Mobil 15w40 utilizado en un motor Isuzu turbo diesel*. Tesis de Ingeniería no publicada. Ecuador 2011. Universidad del Azuay.
15. TORNOS, BERNARDO. *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. Editorial Reverte, S.A. España 2005

**REFERENCIAS ELECTRONICAS**

1. ANALYTYKA. *N-hexano*. [En línea]. [Citado 2013-01-02]. Disponible en: <http://www.analytyka.com.mx/spanish/FDS/H/142063.htm>
2. ATSDR. *Cadmio*. [En línea]. 2008 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts5.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html).
3. ATSDR. *Cromo*. [En línea]. 2008 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html).
4. ATSDR. *Zinc*. [En línea]. 2008 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts60.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts60.html).
5. BUILDES Santiago. *Biodegradación de aceites usados*. [En línea]. 2010 [Citado 2012-01-05]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/biodegradacion-aceites/biodegradacion-aceites.shtml>
6. CASTAÑEDA, Omar. *Mecánica Básica Conceptos y Definiciones*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-01-06] Disponible en : <http://es.scribd.com/doc/121998058/Temas-de-Mecanica-Basica>
7. CEMPRE. *Aceites usados*. [En línea]. 2011 [Citado 2011-12-27] Disponible en: [http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79&Itemid=85](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=85).
8. CHENG, Víctor. *Compuestos aromáticos*. [En línea]. 2005 [Citado 2012-11-13]. Disponible en: <http://www.emagister.com/curso-introduccion-quimica-organica/compuestos-aromaticos>.

9. COMETTO, Ezequiel. *Los Lubricantes*. [En línea]. 2002 [Citado 2012-11-11]  
Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos10/lubri/lubri.shtml#cara>.
10. DIDEVAL. *Metil Etil Cetona*. [En línea]. [Citado 2013-01-02] Disponible en:  
<http://www.dideval.com/pdf/seguridad/MEK.pdf>
11. DEPUROIL. (2007). *Riesgos medio ambientales de los aceites industriales*. [En línea].  
Disponible en:  
<http://www.euskalnet.net/depuroilsa/Riesgosmedioambiente.html#D>  
[Consultado: 11-08-2012]
12. ECHEVERRIA, Esteban. *Contaminación del aceite con agua*. [En línea]. 2012  
[Citado 2012-11-11] Disponible en:  
[http://www.ingdatri.com.ar/pdf/004\\_agua\\_aceite.pdf](http://www.ingdatri.com.ar/pdf/004_agua_aceite.pdf).
13. ELPRISMA. *Lubricantes – Fundamentos*. [En línea]. 2010 [Citado 2012-11-11]  
Disponible en:  
[http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/lubricantesfundamentos1/default4.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/lubricantesfundamentos1/default4.asp).
14. EXPLORED. *23 millones de galones de lubricantes se venden al año*. [En línea].  
2006 [Citado 2012-01-15]. 2006 [Citado 2012-01-15]. Disponible en:  
<http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/23-millones-de-galones-de-lubricantes-se-venden-al-ano-243818-243818.html>.
15. G-OIL. (2012). *Contaminación por aceites lubricantes*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-08-12] Disponible en: <http://www.g-oil.cr/noticias/?p=531>
16. GONZÁLEZ TORRES, Germán. *La historia de la lubricación*. [En línea]. 2001  
[Citado 2011-12-14] Disponible en:  
<http://www.astrolabio.net/aprenda/articulos/100238977210153.html>

17. GUZMÁN, Leonardo Martín. *Grasas lubricantes aplicadas a la industria*. [En línea]. 2010 [Citado 2011-12-16] Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/grasas-lubricantes/grasas-lubricantes.shtml#ACEITES>
18. LINARES, Omar. *Generalidades de la Tribología*. [En línea]. 2005 [Citado 2011-12-12] Disponible en: <http://widman.biz/boletines/19.html>
19. LENNTECH. *Metales pesados*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-12-14]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/metales-pesados.htm>.
20. LIQUI MOLY. *Contenido de cenizas*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-11-11] Disponible en: <http://www.liqui-moly.cl/commerce2/enciclopedia.php?Letra=C>.
21. MUFARREGE, Carlos. *Aceites lubricantes. Riesgo ambiental*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-10-10] Disponible en: [http://www.fhsrl.com.ar/index.php?option=com\\_content&view=category&id=56:agronegocios-y-bioenergia&layout=blog&Itemid=120](http://www.fhsrl.com.ar/index.php?option=com_content&view=category&id=56:agronegocios-y-bioenergia&layout=blog&Itemid=120)
22. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Toxicología del plomo*. [En línea]. 2012 [Citado 2013-08-12]. Disponible en: [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8206&Itemid=39800&lang=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=8206&Itemid=39800&lang=es)
23. PREDIC. *Principios de Lubricación*. [En línea]. 2003 [Citado 2012-11-10] Disponible en: <http://www.predic.com/lubricantes/lubricacion.html>.
24. PROQUIMSA. *N-butanol*. [En línea]. [Citado 2013-01-02]. Disponible en: [http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hs\\_butanol.pdf](http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hs_butanol.pdf)

25. SÁNCHEZ, Diego. *Clasificación de los aceites lubricantes*. [En línea]. 2006 [Citado 2011-12-18]. Disponible en: <http://debates.coches.net/showthread.php?t=60913>.
26. SEGURA Martín, MARCOS Jesús. *Aceites lubricantes para automóvil y sus principales aditivos*. [En línea]. 2011 [Citado 2012-03-15]. Disponible en: <http://www.marcossegura.info/Aditivos%20para%20lubricantes.htm>.
27. SITENORDESTE. *Tribología*. [En línea]. [Citado 2011-12-12]. Disponible en: <http://www.sitenordeste.com/mecanica/tribologia.htm>
28. SOLO MANTENIMIENTO. *Clasificación de los aceites lubricantes por su uso*. [En línea]. 2011 [Citado 2011-12-15]. Disponible en: <http://www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm>.
29. T3QUIMICA. *Isopropanol*. [En línea]. 2007 [Citado 2013-01-01] Disponible en: [http://www.t3quimica.com/pdfs/8i\\_isopropanol.pdf](http://www.t3quimica.com/pdfs/8i_isopropanol.pdf)
30. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. *Conceptos y prácticas de la lubricación*. [En línea]. 2012 [Citado 2012-01-06] Disponible en: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20LUBRICACION%20General%202012.pdf>
31. WIDMAN International SRL. *Que es la viscosidad*. [En línea]. 2009 [Citado 2013-01-10]. Disponible en: <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>.

**ANEXOS****Anexo 1**

Listado nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales

<b>DESECHO PELIGROSO</b>	<b>CRTIB</b>	<b>Código</b>	<b>Código Basilea</b>
Aceites dieléctricos usados que no contengan bifenilopoliclorados (PBC), terfenilopoliclorados (PCT) o bifenilopolibromados (PBB)	T, I	NE-01	Y8
Aceites dieléctricos usados u otros aceites minerales que contengan bifenilopoliclorados (PBC) mayor o igual a 50 ppm o mg/l	T, I	NE-02	Y10
Aceites minerales usados o gastados	T, I	NE-03	Y8
Agroquímicos caducados o fuera de especificaciones generados en actividades comunes	T	NE-04	Y4
Aguas de sentina	T	NE-05	Y9
Aguas residuales industriales que cuyas concentraciones de Cr (VI), As, Cd, Se, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, cianuros, fenoles u otras sustancias peligrosas excedan los límites máximos permitidos (Anexo 1 del Libro VI del TULSMA)	T	NE-06	Y-18
Baterías usadas plomo-ácido	C	NE-07	A1180
Baterías usadas que contengan Hg, Ni, Cd u otros materiales peligrosos y que exhiban características de peligrosidad.	T	NE-08	A1180
Chatarra contaminada con materiales peligrosos	T	NE-09	Y18
Desechos biopeligrosos activos resultantes de la atención médica prestados en centros médicos de empresas	B	NE10	Y1
Desechos contaminados con peróxidos	R	NE-11	A4120
Desechos de aceites minerales no aptos para el uso al que estaban destinados	T, I	NE-12	Y8/Y36
Desechos de amianto/asbesto o materiales	T	NE-13	A2050

contaminados con ellos.			
Desechos de asfalto con contenido de alquitrán resultante de la construcción y el mantenimiento de carreteras	T	NE-14	A3200
Desechos de carácter explosivo	R	NE-15	Y15
Desechos de catalizadores que contengan metales pesados	T	NE-16	Y18
Desechos de los baños de aceite en las operaciones de tratamiento térmico de metales	T, I	NE-17	Y17
Desechos de soluciones ácidas con $\text{pH} < 2$	C	NE-18	Y34
Desechos de soluciones alcalinas con $\text{pH} > 12.5$	C	NE-19	Y35, Y25, Y26, Y27, Y28
Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de antimonio, arsénico, berilio, cadmio, plomo, mercurio, selenio, telurio y talio	T	NE-20	Y29, Y31/A1010
Desechos que contienen mercurio	T	NE-21	Y29
Desechos que contienen, consisten o están contaminados con dioxinas y furanos	T	NE-22	A4110
Desechos químicos de laboratorio de análisis y control de calidad	T	NE-23	Y18
Desechos sólidos o lodos/sedimentos de sistemas de tratamiento de las aguas residuales industriales que contengan materiales peligrosos: Cr (VI), As, Cd, Se, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, cianuros, fenoles o metales pesados	T	NE-24	Y18
Desechos, sustancias y artículos que contienen, consisten o están contaminados con PCB, PCT, naftalenopoliclorado (PCN) O PBB con una concentración igual o mayor a 50 mg/kg.	T	NE-25	Y10
Emulsiones bituminosas	T	NE-26	Y9
Envases contaminados con materiales peligrosos	T	NE-27	A4130
Envases vacíos de agroquímicos sin triple lavado	T	NE-28	A4030
Envases y contenedores vacíos de materiales tóxicos	T	NE-29	A4130

sin previo tratamiento			
Equipo de protección personal contaminado con materiales peligrosos	T	NE-30	Y18
Escombros de construcción contaminados con materiales peligrosos	T	NE-31	Y18
Filtros usados de aceite mineral	T	NE-32	Y8
Gases comprimidos, gases refrigerantes en desuso, almacenados en contenedores o cilindros	T	NE-33	A4140
Aceites, grasas y ceras usadas o fuera de especificaciones	T, I	NE-34	A4140
Hidrocarburos sucios o contaminados con otras sustancias	T, I	NE-35	Y9
Lodos de aceite	T	NE-36	Y8
Lodos de sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas que contengan materiales peligrosos	T	NE-37	Y18
Lodos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos	T, I	NE-38	Y9
Lodos del tratamiento de lavado de gases, que contengan materiales peligrosos	T	NE-39	Y18
Luminarias, lámparas, tubos fluorescentes, focos ahorradores usados que contengan mercurio	T	NE-40	A1180
Material filtrante y/o carbón activado usados con contenido nocivo	T	NE-41	Y18
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	T	NE-42	Y18
Material adsorbente contaminado con sustancias químicas peligrosas: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	T	NE-43	Y18
Material de embalaje contaminado con restos de sustancias o desechos peligrosos	T	NE-44	Y18
Mezclas oleosas, emulsiones de hidrocarburos- agua,	T	NE-45	Y9

desechos de taladrina			
Partes de equipos eléctricos y electrónicos que contienen montajes eléctricos y electrónicos, componentes o elementos constitutivos como acumuladores y otras baterías, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos, capacitores de PCB o contaminados con Cd, Hg, Pb, PCB, organoclorados entre otros.	T	NE-46	A1180
Productos farmacéuticos caducados o fuera de especificaciones generados en empresas no farmacéuticas	T	NE-47	Y2
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	T, I, C, R (2)	NE-48	A4140
Residuos de tintas, pinturas, resinas que contengan sustancias peligrosas y exhiban características de peligrosidad	T, I (1)	NE-49	Y12
Sedimentos o colas de la recuperación de solventes orgánicos	T, I (1)	NE-50	Y6
Solventes orgánicos gastados y mezclas de solventes gastados	T, I	NE-51	Y6
Suelos contaminados con materiales peligrosos	T	NE-52	Y18
Cartuchos de impresión de tinta o tóner usados	T	NE-53	Y12
Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación o el desarrollo o las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan	T, I, C, R (2)	NE-54	Y14
Transformadores en desuso que hayan contenido aceites con PCB, PCT, PBB	T	NE-55	Y10
Desechos peligrosos con contenidos de material radioactivo sea de origen natural o Radiactivo artificial (3)		NE-56	

**Fuente:** Acuerdo ministerial N° 142, registro oficial N° 856 del 21 de diciembre de 2012, “Listado Nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligroso y especiales. Ministerio del Ambiente.

## Anexo 2

### Acta de compromiso con el Municipio de Loja

#### ACTA DE COMPROMISO DE PRACTICA PROFESIONAL

En Loja a los 21 días del mes de Mayo del 2012, a pedido expreso del egresado señor CRISTIAN SIGUENCIA, se reúne conjuntamente con el Ing. EDUARDO RENGEL SANTIN Jefe de Gestión Ambiental, para formalizar la siguiente acta de compromiso, que tiene como finalidad permitir el desarrollo de la tesis de grado como paso previo a su titulación como Ingeniero Mecánico, el tema de la tesis es: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE MINERAL BASE DE CALIDAD MEDIANTE EL MÉTODO DEL SOLVENTE, este trabajo se desarrollara en la planta de tratamiento de aceites que el GADML tiene en el parque industrial, en las siguientes condiciones:

**PRIMERO:** Las partes declaran que el señor Cristian Siguencia, no es, ni será trabajador del GADML, ni de la Jefatura de Gestión Ambiental.

**SEGUNDO:** La práctica del señor Cristian Siguencia de acuerdo a lo solicitado por el, será de seis meses, el horario será de 8H00 hasta las 18H00, en caso de ser necesario una prorroga o cambio de horario se presentara una solicitud dirigida al Jefe de Gestión Ambiental, el cual la considerara o la negara.

**TERCERO:** Todos los gastos que incurran en el desarrollo de su trabajo serán de exclusiva responsabilidad del señor Cristian Siguencia.

**CUARTO:** El GADML se compromete a dar las facilidades para el acceso del señor Cristian Siguencia a la planta de tratamiento de aceites, así como la información que sea requerida.

**QUINTO:** Cualquier daño que se produjera en la planta de tratamiento de aceites, será reparado por el señor Cristian Siguencia, previo informe del Jefe de Gestión Ambiental.

2012

**SEXTO:** El señor Cristian Siguencia se compromete a entregar una copia detallada de los trabajos realizados por el, así como del proyecto de tesis aprobado por la Universidad del Azuay.

**SEPTIMO:** La Jefatura se obliga a los controles que la Universidad del Azuay practique mediante sus docentes.

**OCTAVO:** La práctica terminará al haberse completado el tiempo establecido en el inciso segundo de esta acta y haberse extendido el informe correspondiente.

Sin embargo podrá terminarse anticipadamente por lo siguiente:

Faltas de la buena relación que deba existir entre el señor Cristian Siguencia y las personas que laboran en la Institución.

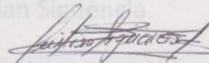
Por incumplimiento del inciso quinto de esta acta de compromiso.

**NOVENO:** Se deja constancia que el señor Cristian Siguencia, motivo de la presente acta, inicia su práctica con fecha 21 de Mayo del 2012.

**DECIMO:** El presente convenio se firma tres ejemplares, declarando las partes haber recibido, a lo menos, un ejemplar del mismo.

  
Ing. Eduardo Rengel  
JEFE DE GESTIÓN AMBIENTAL



  
Sr. Cristian Siguencia  
EGRESADO

**Anexo 3**

**Informe N° 12-10-02-P-2 aceite usado**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS  
 PETROLEOS**

---

**Referencia:** OT: 12-10-02-P  
**Atención:** Sr. Christian Sigüencia  
**Empresa:** PARTICULAR  
**Dirección:** Loja  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Aceite  
**Identificación de la muestra:** Aceite usado  
**Descripción de la muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 09-10-2012  
**Código de la muestra:** OE-12-10-02-P-2  
**Fecha de realización de ensayos:** 09-10-2012/19-10-2012

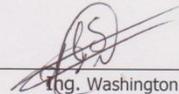
Informe N° 12-10-02-P-2  
 Fecha: 2012-11-05

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Viscosidad Cinemática a 100 °C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	9,78
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,070
Cromo	mg/kg	ASTM D-5056/ PNE/DPEC/A/SM3111 B	< 0,400
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,900
Zinc	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	0,398

**Condiciones Ambientales.-** Presión: 545,7 mmHg; Temperatura: 21,4°C

Realizado por: C EGL

Revisado Por:

X   
 Ing. Washington Ruiz L.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

X   
 Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

## Anexo 4

## Informe N° 12-10-02-P-1. Aceite reciclado método ácido-arcilloso



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS  
PETROLEOS

Referencia: OT: 12-10-02-P  
Atención: Sr. Christian Siguencia  
Empresa: PARTICULAR  
Dirección: Loja  
Tipo de ensayos: Físico químicos  
Tipo de muestra: Aceite  
Identificación de la muestra: Aceite reciclado refinado  
Descripción de la muestra: Sin descripción específica  
Fecha de ingreso de muestra: 09-10-2012  
Código de la muestra: OE-12-10-02-P-1  
Fecha de realización de ensayos: 09-10-2012/19-10-2012

Informe N° 12-10-02-P-1  
Fecha: 2012-11-05

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Viscosidad Cinemática <sup>(1)</sup> a 100 °C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	3,88
Cadmio*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,070
Cromo*	mg/kg	ASTM D-5056/ PNE/DPEC/A/SM3111 B	< 0,400
Plomo*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,900
Zinc*	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	0,348
Índice de Viscosidad*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D 2270	77
Punto de inflamación <sup>(2)</sup>	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 92	147,1
Punto de vertido*	°C	ASTM D-97	-19
Color ASTM*	U. color	ASTM D 1500	4,5
Cenizas*	%P	ASTM D 482	0,147
Agua por destilación *	%V	ASTM D 95	0,05

Nota.- Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010

Nota.- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE

Observaciones: El dato de Punto de inflamación esta corregido a presión atmosférica 760 mmHg.

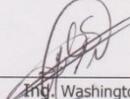
(1) Incertidumbre asociada a la medida de Viscosidad Cinemática,  $U = \pm 0,35$  cSt (K=2)

(2) Incertidumbre asociada a la medida de Punto de Inflamación,  $U = \pm 20,0$  °C (K=2)

Condiciones Ambientales.- Presión: 545,7 mmHg; Temperatura: 21,4°C

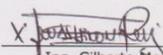
Realizado por: CEGL

Revisado Por:

X   
Ing. Washington Ruiz L.  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

X   
Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@iique.edu.ec  
QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-5

Hoja 1 de 2

**Anexo 5**

**Informe N° 12-10-03-P-1 lodo ácido**



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS**  
**PETROLEO**

Informe N° 12-10-03-P-1  
 Fecha: 2012-11-05

**Referencia:** OT: 12-10-03-P  
**Atención:** Sr. Christian Sigüencia  
**Empresa:** PARTICULAR  
**Dirección:** Loja  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Lodo  
**Identificación de la muestra:** Lodo borra acida (05-10-2012)  
**Descripción de la muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 09-10-2012  
**Código de la muestra:** OE-12-10-03-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 09-10-2012/29-10-2012

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	0,245
Cromo	mg/kg	ASTM D-5056/ PNE/DPEC/A/SM3111 B	54,183
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	3,995
Zinc	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	62,399

**Observaciones.-** Debido a la naturaleza de las muestras, no se disolvieron totalmente en los diferentes ácidos que se utilizan para la digestión

**Condiciones Ambientales.-** Presión: 545,0 mmHg; Temperatura: 20,2°C

Realizado por: CEGL

Revisado Por:

X   
 Ing. Washington Ruiz L.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

X   
 Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@iuce.edu.ec

**Anexo 6**

**Informe N° 12-10-03-P-2, lodo borra arcilloso**



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS**  
**PETROLEO**

Informe N° 12-10-03-P-2  
 Fecha: 2012-11-05

**Referencia:** OT: 12-10-03-P  
**Atención:** Sr. Christian Sigüencia  
**Empresa:** PARTICULAR  
**Dirección:** Loja  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Lodo  
**Identificación de la muestra:** Lodo borra arcillosa (05-10-2012)  
**Descripción de la muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 09-10-2012  
**Código de la muestra:** OE-12-10-03-P-2  
**Fecha de realización de ensayos:** 09-10-2012/29-10-2012

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Cadmio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	0,107
Cromo	mg/kg	ASTM D-5056/ PNE/DPEC/A/SM3111 B	1,469
Plomo	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,900
Zinc	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	32,663

**Observaciones.-** Debido a la naturaleza de las muestras, no se disolvieron totalmente en los diferentes ácidos que se utilizan para la digestión

**Condiciones Ambientales.-** Presión: 545,0 mmHg; Temperatura: 20,2°C

Realizado por: CEGL

Revisado Por:

X   
 Ing. Washington Ruiz L.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

X   
 Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@iquce.edu.ec  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-5

Hoja 2 de 2

**Anexo 7**

**Certificado de utilización del estudio de Factibilidad**



**G A D  
Municipal  
de Loja**

*Fomentemos las artes, la industria;  
el saber tenga aquí su morada;  
y la frente en sudor empapada,  
sólo sepa inclinarse ante Dios.*

*Himno a Loja*

**Ing. Eduardo Rengel Santín  
JEFE MUNICIPAL DE GESTION AMBIENTAL**

***CERTIFICA :***

Que, se ha procedido a revisar el Estudio de Factibilidad de la Planta de Reciclaje de Aceite Mineral Usado realizado en el año 2007, el mismo que es pertinente y se ha efectuado algunas actualizaciones de datos para establecer su validez.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso de la información detallada en el mismo para los fines de investigación pertinentes.

Loja, 19 de marzo de 2013

**Ing. Eduardo Rengel Santín  
JEFE MUNICIPAL DE GESTION AMBIENTAL**

Anexo 8

Factura de permiso de compra de sustancias sujetas a fiscalización.



**CONSEP**  
En la vida y salud del Ecuador

**CONSEJO NACIONAL DE CONTROL  
DE SUSTANCIAS ESTUPEFACIENTES  
Y PSICOTRÓPICAS**

MATRIZ QUITO: EL GIRÓN, AV. 12 DE OCTUBRE N23-99 Y WILSON  
TELF.S.: 2904788 / 2900442 / 2506088 / / 2237873 - FAX: 2564717  
DIRECCION REGIONAL CONSEP LOJA  
JOSE ANTONIO EGUIGUREN 14-18 Y BOLIVAR  
TELEFONOS: 2571 967 / 2582 717 - LOJA - ECUADOR  
AUTORIZACIÓN: 1111088200

**CONTRIBUYENTE ESPECIAL**  
Resolución 281 del 23-01-1997  
R.U.C. 1760012400001

**FACTURA N° 017-001-00 0002131**

CLIENTE: <b>SIGUENCA CARRILLO CRISTIAN GONZALO</b> R.U.C. 6 C.I.: <b>1104200405</b> DIRECCIÓN: <b>URB. SAN RAFAEL</b> PROVINCIA: <b>LOJA</b>	LUGAR Y FECHA DE EMISIÓN: <b>LOJA</b> TELÉFONO: <b>17 AGO 2012</b> CANTÓN: <b>007231783</b>
---	---

CANTIDAD	DETALLE	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	Compras: Ocasional Pago por concepto de compra ocasional de sustancias controladas	5,00	5,00
<b>TOTAL COLUMNAS</b>			<b>5,00</b>

SON: **CINCO 00/100 Dólares** DÓLARES

FORMA DE PAGO: **EFFECTIVO 5,00**

CHEQUE N° BANCO VALOR	TOTAL GRAVADO CON I.V.A. TARIFA 0% <b>5,00</b> BASE IMPONIBLE I.V.A. TARIFA 12% <b>0,00</b> IMPORTE DEL I.V.A. <b>0,00</b> <b>TOTAL FACTURA 5,00</b>
-----------------------------	---

PREPARADO **Lina Flandoli**      AUTORIZADO **Lic. Esperanza Mena O.**      RECIBI CONFORME

PREPARADO <b>Lina Flandoli</b>	AUTORIZADO <b>Lic. Esperanza Mena O.</b>	RECIBI CONFORME
--------------------------------	--	-----------------

ADQUIRENTE



MONSALVE MORENO CIA. LTDA. - R.U.C. 019084379781 AUTORIZACION N° 1918 - 500 Firm. N° 0002131 M 0000000 - Fecha de Autorización: 17 Agosto 2012 - Fecha de Caducidad: 30 Mayo 2013

**Anexo 9**

**Guía de transporte de sustancias sujetas a fiscalización**

DATOS DEL ORIGEN		DATOS DEL DESTINATARIO	
Nombre :	LARCO RIVERA HERWIN ROGER	Nombre :	SIGUENCIA CARRILLO CRISTIAN GONZALO
Calificación :	17-0890-I	Calificación :	P011-000-312
LUGAR Y FECHA DE EMBARQUE		LUGAR Y FECHA DE DESEMBARQUE	
QUITO, 23-Agosto-2012		LOJA, 24-Agosto-2012	
COMPAÑIA DE TRANSPORTE		DESCRIPCION DE LA RUTA	
NOVAGHEM		QUITO - ALOAG - LATAÇUNGA - RIOBAMBA - CUENCA - LOJA	
DATOS DEL CONDUCTOR		DATOS DEL VEHICULO	
Nombre :	MARCELO VARELA	Tipo Vehículo :	Furgoneta # Placa : PFI - 0328
Cédula Nac./Ext. :	1201224829	# Motor :	F10A1067932
# Y TIPO DE RECIPIENTE	DESCRIPCION DE LA SUSTANCIA	CANTIDAD NETA	PRESENTACION
1 FRASCOS	MEK/METIL ETIL CETONA G.R.	1.0000 LT	FRASCO X 1 LITRO
1 FRASCOS	N-HEXANO G.R.	4.0000 LT	FRASCO X 4 LITROS

Estos Productos serán transportados  
bajo la responsabilidad del proveedor  
destinatario y transportista

NUMERO DE AUTORIZACION  
17-3554-00290

  
 DIRECCION NACIONAL DE CONTROL Y FISCALIZACION

FECHA DE EMISION  
23-Agosto-2012



Anexo 10

Informe N° 13-02-03-P-1 aceite reciclado método del solvente



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS  
 PETROLEOS**

Informe N° 13-02-03-P-1  
 Fecha: 2013-03-05

**Referencia:** OT: 13-02-03-P  
**Atención:** Sr. Christian Sigüencia  
**Empresa:** PARTICULAR  
**Dirección:** Loja  
**Tipo de ensayos:** Físico químicos  
**Tipo de muestra:** Aceite  
**Identificación de la muestra:** Aceite reciclado  
**Descripción de la muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de muestra:** 08-02-2013  
**Código de la muestra:** OE-13-02-03-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 08-02-2013/22-03-2013

ENSAYO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Viscosidad Cinemática a 100 °C *	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D 445	7,55
Cadmio*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,200
Cromo*	mg/kg	ASTM D-5056/ PNE/DPEC/A/SM3111 B	< 0,400
Plomo*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D 5863/ APHA 3111 B	< 0,900
Zinc*	mg/kg	ASTM D 5056/APHA 3111 B	4,896
Índice de Viscosidad*	-	ASTM D 2270	108
Punto de inflamación <sup>(1)</sup>	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 92	153,2
Punto de vertido*	°C	ASTM D-97	< -22
Color ASTM*	U. color	ASTM D 1500	8
Cenizas*	%P	ASTM D 482	0,350
Agua por destilación <sup>(2)</sup>	%V	PNE/DPEC/P/ ASTM D-4006	0,050

**Nota.-** Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010  
**Nota.-** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE  
**Observaciones:** El dato de Punto de inflamación esta corregido a presión atmosférica 760 mmHg.  
 (1) Incertidumbre asociada a la medida de Punto de Inflamación, U = ± 20,0 °C (K=2)  
 (2) Incertidumbre asociada a la medida del Agua por destilación, U = ± 0,013 %V (K=2)  
**Condiciones Ambientales.-** Presión: 545,2 mmHg; Temperatura: 21,3°C

Realizado Por: CEGL

Revisado Por:

Aprobado Por:

Ing. Washington Ruiz L. MSc.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



X   
 Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@fing.uce.edu.ec  
 QUITO - ECUADOR

**Anexo 11**

**Informe N° 13-02-14-A-2 lodos sedimentados**



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS**  
**AGUAS**

Informe No: 13-02-14-A-2  
 Fecha: 2013-04-18

**Referencia:** OT: 13-02-14-A  
**Empresa:** PARTICULAR  
**Atención:** Sr. Christian Sigüencia  
**Dirección:** Loja  
**Tipo de ensayos:** Análisis fisicoquímicos  
**Tipo de muestra:** Lodos  
**Identificación de la muestra:** Lodo Sedimentado  
**Descripción de la muestra:** Sin descripción específica  
**Muestra tomada por:** Cliente  
**Fecha de ingreso de muestra:** 08-02-2013  
**Código de la muestra:** OE-13-02-14-A-2  
**Fecha de realización de ensayos:** 08-02-2013/17-04-2013

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)
Cadmio*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	< 2,000	21,09%
Cromo Total	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	2,128	12,13%
Plomo*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	147,938	22,68%
Zinc*	mg/kg	PNE/DPEC/A/SM 3111 B	670,977	26,20%

**Nota.-** Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-010  
**Nota.-** Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE  
**Condiciones Ambientales.-** Humedad: 32,0 % Temperatura: 22,8 °C

Realizado Por: CEG

Revisado Por:

Aprobado Por:

x Ing. César Alvarado C.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



x Ing. Gilberto Moya D., Dpl  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@lquce.edu.ec  
 QUITO - ECUADOR

Anexo 12

Factura costo del 2-Propanol

 <b>NOVACHEM</b> del Ecuador LARCO RIVERA HERWIN ROGER	PERSONA NATURAL OBLIGADA A LLEVAR CONTABILIDAD Av. Real Audiencia N66-97 y De Los Eucaliptos (frente a la entrada posterior del Parque de los Recuerdos) Telefax: 3463 695 / 3463 699 / 3464 006 • Cel.: 09 949 7073 e-mail: novachem@ulo.satnet.net • Quito - Ecuador	R.U.C. 1201527379001 <b>FACTURA</b> 001-001- 000013934 N° AUT. S.R.I. 111145162
---	--	--

<b>SEÑORES:</b> SIGUENCIA CARILLO CRISTIAN GONZALO DIR: AGUSTIN EGUIGUREN 1595 EDUARDO MORA LOJA ECUADOR TLF: RUC: 1104200405	VENDEDOR: 600 FECHA DE EMISION: 13/08/2012 FECHA VENCIMIENTO: 13/08/2012 CONDICION DE PAGO: CONTADO
--	--

ARTICULO	LOTE	CANT.	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
A416P4		1	ALCOHOL ISOPROPILICO ACS 4 LTRS	84.82	84.82
CON2		1	PERMISO CONSEP	5.00	5.00
FL		1	FLETE	3.00	3.00

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES. FAVOR REALIZAR RECLAMOS DENTRO DE LOS 8 DIAS DE RECIBIDA LA MERCADERIA. DEBO Y PAGARE AL EMISOR SIN PROTESTO EL TOTAL DE ESTA FACTURA, EN CASO DE MORA PAGARE LA TASA MAXIMA AUTORIZADA PARA EL EMISOR.	SUBTOTAL \$	92.82
	DESCUENTO \$	0.00
	SUBTOTAL NETO \$	92.82
	12 % I.V.A.	10.18
	<b>TOTAL \$</b>	<b>103.00</b>

RECIBI CONFORME  Nombre Firma
 
 FIRMA AUTORIZADA 

Anexo 13

Factura costo MEK, n-Hexano

 <b>NOVACHEM</b> del Ecuador LARCO RIVERA HERWIN ROGER	PERSONA NATURAL OBLIGADA A LLEVAR CONTABILIDAD Av. Real Audiencia N°66-97 y De Los Eucaliptos (frente a la entrada posterior del Parque de los Recuerdos) Telefax: 3463 695 / 3463 699 / 3464 006 - Cel.: 09 949 7073 e-mail: novachem@ulo.satnet.net • Quito - Ecuador	R.U.C. 1201527379001 <b>FACTURA</b> 001-001- 000013998 N° AUT. S.R.I. 1111145162
---	---	---

SEÑORES:

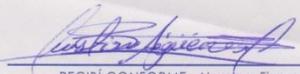
SIGUENCIA CARILLO CRISTIAN GONZALO  
 DIR: AGUSTIN EGUIGUREN 1595 EDUARDO MORA LOJA  
 ECUADOR  
 TLF:  
 RUC: 1104200405 FABIAN CARRION

VENDEDOR: 600  
 FECHA DE EMISION: 23/08/2012  
 FECHA VENCIMIENTO: 07/09/2012  
 CONDICION DE PAGO: 15 DIAS

ARTICULO	LOTE	CANT.	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
MIKM2133F		1	METIL ETIL CETONA (MEK) LITROS	75.00	75.00
H2924		1	HEXANO ACS, 4 LTS	67.00	67.00
00N		1	GUJA CONSEP	5.00	5.00

SEGUN LRTI ART.50.- SE RECIBIRAN RETENCIONES HASTA 5 DIAS POSTERIORES A LA FECHA DE EMISION DE EN CASO DE NO EFECTUARSE, SOLICITAMOS CANCELAR EL VALOR TOTAL DE LA FACTURA.

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES.  
 FAVOR REALIZAR RECLAMOS DENTRO DE LOS 8 DIAS DE RECIBIDA LA MERCADERIA.  
 DEBO Y PAGARE AL EMISOR SIN PROTESTO EL TOTAL DE ESTA FACTURA, EN CASO DE MORA PAGARE LA TASA MAXIMA AUTORIZADA PARA EL EMISOR.

 RECIBI CONFORME - Nombre Firma	FIRMA AUTORIZADA 	SUBTOTAL \$	147.00
		DESCUENTO \$	0.00
		SUBTOTAL NETO \$	147.00
		12 % I.V.A.	17.04
		<b>TOTAL \$</b>	<b>164.04</b>