

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

**Aprovechamiento de grasas y aceites residuales para su uso en
transformadores eléctricos.**

RESIDENCIA PROFESIONAL

**PRESENTA:
ARTURO LÓPEZ VAZQUEZ
28/12/2014**

ASESOR: DR. ARNULFO ROSALES QUINTERO

TUXTLA GUTIERREZ, CHIPAS.

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	5
INDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
CAPITULO I	8
INTRODUCCIÓN	8
JUSTIFICACION	9
CAPITULO II	11
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	11
2.1 General.....	11
2.2 Específicos	11
CAPITULO III	12
ÁREA DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO	12
CAPITULO IV	13
MARCO TEÓRICO	13
4.1 Grasas y aceites vegetales.....	13
4.1.1 Generalidades	13
4.1.2 Características.....	13
4.2 Estándar del aceite vegetal.....	15
4.3 Aceites vegetales residuales	16
4.3.1. Compuestos volátiles.	18
4.3.2. Compuestos polares no poliméricos de volatilidad moderada (hidroxi y epoxi ácidos).	18
4.3.3. Dímeros y polímeros de ácidos y glicéridos.	18
4.3.4. Ácidos grasos libres.....	19
4.4. Principales reacciones de degradación.....	19
4.4.1. Hidrolisis.	19
4.4.2. Oxidación térmica o Autooxidación.....	20

4.4.3. Polimerización.....	20
4.5. Entorno comercial.....	21
4.5.1. Mercado mexicano de aceites y grasas.....	22
4.6. Impacto ambiental y social de los aceites vegetales residuales (AVR).....	23
4.6.1. Salud humana.....	23
4.6.2. Salud animal.....	24
4.6.3. Contaminación en el agua.....	25
4.6.4. Contaminación en el suelo.....	26
4.6.5. Contaminación en el aire.....	26
4.7. Introducción a los procesos de adsorción.....	27
4.8. Propiedades físicas de los adsorbentes.....	28
4.8.1. Gravas, arenas y arcillas.....	30
4.9. Diseño de columnas de adsorción de lecho fijo.....	31
4.9.1. Introducción y perfiles de concentración.....	31
4.10. Tratamiento de grasas y aceites residuales.....	33
4.11. Aceites para transformadores eléctricos.....	33
4.11.1. Introducción.....	33
4.11.2. Generalidades de los Aislantes Líquidos.....	34
4.12. Criterios y límites permisibles de acuerdo a la norma IRAM 2026.....	38
4.12.1. Controles del aceite Aislante en Servicio.....	39
4.13. Métodos de reacondicionado y de recuperación de aceites aislantes envejecidos en servicio.....	40
4.13.1. Reacondicionamiento.....	40
4.13.2. Recuperación.....	42
4.13.3. Percolación por presión.....	43
4.13.4. Percolación por gravedad.....	44
4.13.5. Proceso por contacto.....	46
4.13.6. Fosfato trisódico.....	46
4.13.7. Ácido sulfúrico-cal.....	46
4.13.8. Carbón activado silicato de sodio.....	47
CAPITULO V	48
PROBLEMAS A RESOLVER.....	48

CAPITULO VI	49
ALCANCES Y LIMITACIONES	49
6.1. Alcances	49
CAPITULO VII	50
METODOLOGÍA	50
7.1 Recolección del aceite residual.....	50
7.2 Diseño de columnas empacadas de filtración.	50
7.2.1 Selección de los materiales adsorbentes para las columnas.	50
7.2.2 Acoplamiento de los adsorbentes seleccionados a las columnas empacadas..	51
7.3 Técnicas de análisis para el aceite de acuerdo a la norma IRAM 2026.....	52
7.3.1. Rigidez dieléctrica	52
7.3.2. Índice de neutralización (Acidez).....	56
7.3.3. Tensión superficial	57
7.3.4. Contenido de Agua.	58
7.3.5. Punto de inflamación	60
7.3.6. Medición del pH.....	60
7.4. Determinación de la viscosidad y densidad.	61
CAPITULO VIII	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
8.1 Análisis de los adsorbentes por separado.	62
8.1.2. Determinación de viscosidad y densidad.....	62
8.1.3 Determinación de acidez titulable de los filtrados de aceite residual en los diferentes adsorbentes.....	65
CAPITULO IX	67
CONCLUSIONES	67
CAPITULO X	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
CAPITULO XI	0
ANEXOS.....	0

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Figura 2. a) Laboratorio de Ingeniería Ambiental, b) Polo tecnológico.

Figura 3. Estructura de los triglicéridos (McMurry, 2008).

Figura 4. Dato estimado para el ciclo 2003-2004. ANIAME. Asociación nacional de industrias de aceites y mantecas comestibles, A.C.)

Figura 5. Productores de aceites vegetales ANIAME: Asociación nacional de industrias de aceites y mantecas comestibles, A.C.

Figura 6. Producción mundial de aceites. ANIAME: Asociación nacional de industrias de aceites y mantecas comestibles, A.C.

Figura 7. Contaminación del agua con aceite vegetal residual (Venezblogger. 2013).

Figura 8. Solución al ejemplo citado (Fuente. C.J. Geankoplis, 1998).

Figura 9. Percolación por presión (IRAM 2026).

Figura 10. *Percolación por gravedad (IRAM 2026).*

Figura 11. a) Adsorbentes, b) Diseño preliminar de columnas y filtrados de cada adsorbente.

Figura 12. Columnas empacadas con los 5 adsorbentes seleccionados.

Figura 13. Determinación de rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

Figura 14. Valores de k para obtener la rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

Figura 15. Temperatura vs rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

Figura 16. Contenido de agua vs rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

Figura 17. Diagrama de flujo para determinación de acidez (IRAM 2026).

Figura 18. Medidor Combo HANNA HI98129 Waterproof

Figura 19. Viscosímetro SVM 3000.

Figura 20. Determinación de viscosidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

Figura 21. Determinación de viscosidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

Figura 22. Determinación de la densidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

Figura 23. Determinación de la densidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

Figura 24. Acidez titulable del aceite filtrado con cada adsorbente por separado.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura de algunos ácidos grasos comunes (McMurry, 2008).

Tabla 2. Características de los yacimientos de estos materiales (Promedio de diez análisis, R.H Nanz Jr, 1954).

Tabla 3. Composición general de gravas, arenas y arcillas (Promedio de diez análisis, R.H Nanz Jr, 1954.)

Tabla 4. Ensayos para un aceite aislante (IRAM 2026).

Tabla 5. Determinación de viscosidad y densidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

Tabla 6. Acidez titulable del aceite filtrado con cada adsorbente por separado.

RESUMEN

El presente proyecto consistió en la purificación de aceites residuales vegetales, para poder usarlos como aislantes en transformadores eléctricos, estos fueron recolectados de restaurantes y otros establecimientos, utilizando columnas empacadas con 7 tipos de adsorbente diferentes como propuesta inicial los cuales se redujeron al final en 5 por conveniencia en el proyecto. Posteriormente se caracterizó al aceite filtrado en las columnas, haciéndole diferentes determinaciones como Acidez, Densidad, Viscosidad, Punto de inflamación etc., y añadiendo o reduciendo compuestos para que este se ajustara a las especificaciones que marca la norma con la que se llevó a cabo el trabajo, Aceites Minerales Aislantes Nuevos Para Transformadores Eléctricos. NOM IRAM 2322.

Obteniendo resultados muy significativos e interesantes, los cuales predicen que este método es adecuado para caracterizar este tipo de aceites y que pueden ser utilizados para transformadores eléctricos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayoría de los alimentos que se elaboran en todas las ciudades y pueblos, utilizan grasas aceites vegetales para la preparación y cocción de los mismos, y al no tener un control normativo que rija a cada establecimiento donde se utilizan estos aceites, estos son desechados de una forma inconsciente hacia las alcantarillas y el drenaje, generando una tremenda contaminación del agua y el medio ambiente donde son desechados. Los aceites son contaminantes potenciales ya que basta con un litro de aceite residual para contaminar hasta 1000 litros de agua y corromper la vida del ecosistema al que este llega.

Los transformadores eléctricos que utiliza CFE utilizan aceites derivados del petróleo los cuales tienen la función de un aislante así también como un refrigerante. Debido a las cargas eléctricas que se manejan dentro y al calor generado por las corrientes eléctricas que se generan dentro del transformador es necesario regular la temperatura interna. Este tipo de protección para el transformador puede sustituirse utilizando aceites vegetales residuales, previamente tratados para que realicen la misma función como aislante dieléctrico.

Para que el aceite residual pueda ser reutilizado se requiere en primera instancia purificarlo y esto se puede efectuar a través de una filtración en columnas empacadas utilizando diferentes tipos de adsorbentes, los cuales tendrán la capacidad de retener algunas partículas que estén contaminado el aceite residual y posteriormente caracterizarlo, de acuerdo a la normatividad que se manejan por las empresas hidroeléctricas, las cuales marcan los límites permitidos de las concentraciones que debe tener nuestro aceite de la acidez, pH, %humedad, rigidez dieléctrica, punto de inflamación, viscosidad y densidad.

El objetivo de este trabajo es purificar y caracterizar el aceite residual de acuerdo a la norma IRAM 2026 para su uso en transformadores eléctricos como aislante dieléctrico.

JUSTIFICACION

El aprovechamiento de los residuos líquidos tales como los aceites vegetales residuales son de gran importancia debido a que estos son generados en grandes cantidades en todo el país. En México se cuentan con 347 199 unidades económicas registradas de la industria restaurantera, en Chiapas se tienen registradas 12 510 unidades económicas (INEGI, 2009). Pero estos datos no toman en cuenta algunos establecimientos de comida rápida, de frituras, taquerías etc., u otras actividades donde se utilizan los aceites vegetales, es por ello que sería de suma importancia poder aprovechar todos estos residuos y darles un uso diferente para el que fueron elaborados, y así generar ingresos y evitar la contaminación del medio ambiente hacia donde este tipo de desechos van a dar.

Una de las alternativas planteadas para el tratamiento de aceites residuales es mediante la purificación y caracterización del mismo, se utilizan técnicas muy sencillas y materiales que se pueden conseguir en gran cantidad y a bajo costo.

El aceite purificado puede tener diferentes tipos de usos, una de las formas de aprovechar este tipo de residuos es el uso como aislante y refrigerante para transformadores eléctricos, para el cual se debe caracterizar el aceite residual antes de poder ser usado para estos fines ya que este debe cumplir con ciertas características para que no genere daños al equipo ni problemas posteriores durante su uso como aislante y refrigerante.

Es por todo lo expuesto anteriormente que se pretende elaborar este proyecto con la finalidad de lograr una buena caracterización del aceite, utilizando técnicas innovadoras y diversos materiales para lograr obtener un aceite limpio y que pueda ser reutilizable en los transformadores eléctricos.

CAPITULO II

OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

2.1 General

- Obtener y caracterizar un aceite purificado a partir de aceites vegetales residuales, con el fin de proponer una alternativa de uso a este desecho como aislante y refrigerante en transformadores eléctricos y contribuir a un manejo integral de los establecimientos de comida.

2.2 Específicos

- Diseñar columnas empacadas para filtrar el aceite residual.
- Seleccionar los adsorbentes que más beneficien la purificación del aceite residual.
- Caracterizar el aceite purificado para que cumpla con los requerimientos de la norma IRAM 2026.
- Establecer las principales características físicas del aceite residual vegetal: densidad, viscosidad, humedad, índice de refracción.
- Establecer las principales características físicas del aceite residual vegetal: Acidez, peróxidos, índice de yodos.

CAPITULO III

ÁREA DONDE SE REALIZÓ EL PROYECTO

Este proyecto se realizó en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ubicado en, Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Apartado Postal: 599, y las determinaciones físicas y químicas se realizaron en los laboratorios de Ingeniería Ambiental y en el Polo Tecnológico, todos los instrumentos usados para los experimentos fueron proporcionados por ambos laboratorios y algunos fueron de reciclaje.

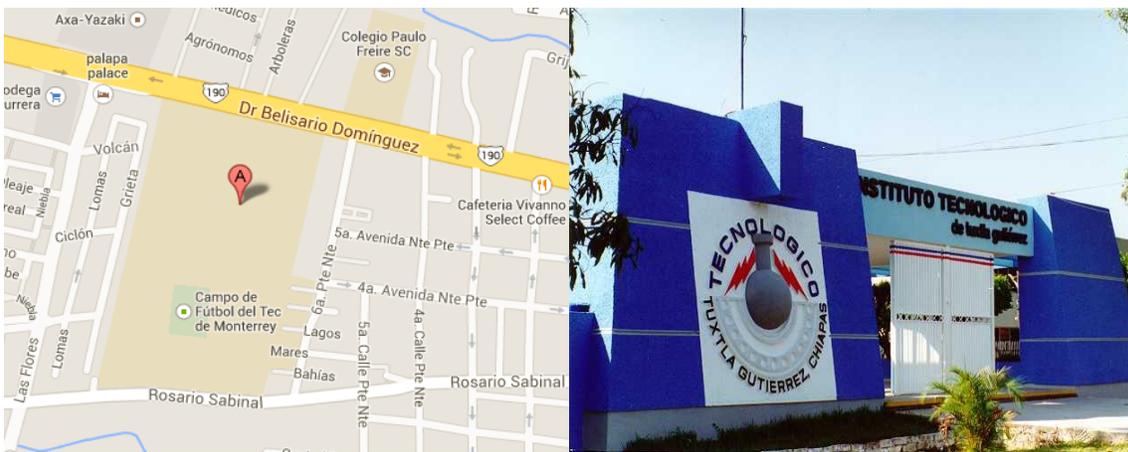


Figura 1. a) Ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Figura 2. a) Laboratorio de Ingeniería Ambiental, b) Polo tecnológico.

CAPITULO IV

MARCO TEÓRICO

4.1 Grasas y aceites vegetales.

4.1.1 Generalidades

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas o frutos de algunas plantas. En realidad, todas las semillas y frutos contienen aceite, pero sólo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite. Como todas las grasas están constituidas por glicerina y tres ácidos grasos.

Entre las semillas de plantas cultivadas por su aceite, las más conocidas son: el cacahuete, la colza, el ricino, la soja y el girasol. A estas se deben agregar las plantas cultivadas para la producción de fibras textiles y en segundo lugar aceite: algodón y lino principalmente. En cuanto a los frutos oleaginosos, estos provienen principalmente del cocotero (copra), del nogal, de la palma de aceite (palma y palmito) y del olivo (aceitunas).

El aceite vegetal se puede obtener mecánica o químicamente, y en general puede usarse una combinación de ambas técnicas

Las grasas son los principales constituyentes de las margarinas, grasas de mantequillas, grasas de repostería y aceites para cocinar. Los aceites, la margarina y la mantequilla se emplean directamente en los alimentos.

4.1.2 Características

Los aceites y grasas vegetales son sustancias orgánicas, formadas por esterres de ácidos grasos y glicerina a los que se le denomina glicéridos; la glicerina puede estar mono, di o triesterificada por los ácidos grasos, en cuyo caso se forman los mono, di o triglicéridos. Además de los esterres de glicerina, el aceite contiene pequeñas cantidades de vitaminas, fosfátidos (lecitinas), esterroles colorantes (carotenos, clorofila, y xantofilas), agua e hidrocarburos que constituyen el material insaponificable (Mirasolain, 1998).

Estas biomoléculas llamados lípidos, se encuentran en la naturaleza y tienen una solubilidad limitada en agua. Las grasa animales y los aceites vegetales son los lípidos que se encuentran distribuidos más ampliamente en la naturaleza. Aunque parecen diferentes –las grasas animales como la mantequilla y la manteca son sólidos, mientras que los aceites vegetales como el aceite de maíz y el de cacahuate son líquidos-- , sus estructuras están estrechamente relacionadas. Químicamente las grasas y los aceites son *triglicéridos* o triacilgliceroles –triesteres de glicerol con tres ácidos carboxílicos de cadena larga llamados ácidos grasos (McMurry, 2008).

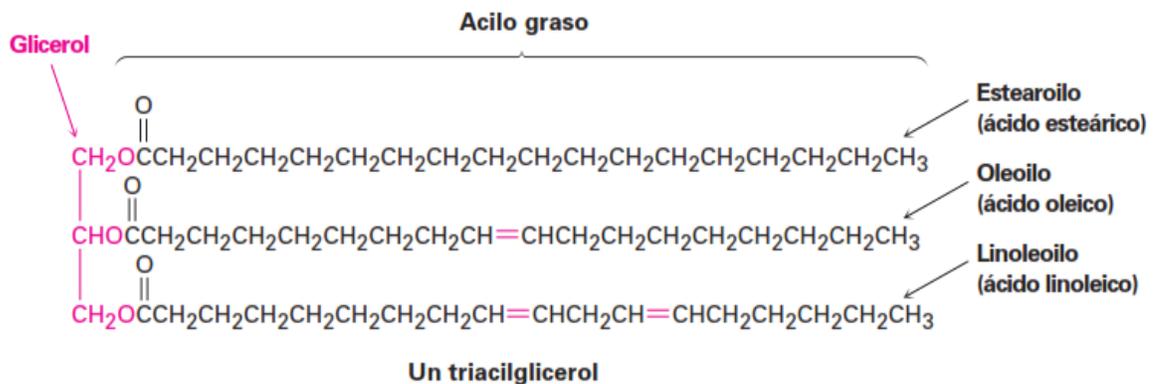


Figura 3. Estructura de los triglicéridos (McMurry, 2008).

Los aceites vegetales pueden clasificarse de acuerdo al tipo de ácido graso que contengan como:

- Insaturados
- Monosaturados
- Polisaturados

Desde el punto de vista “calidad” del carburante, mientras más saturado es el aceite, mejor es. Sin embargo, estos aceites saturados son sólidos a temperaturas elevadas.

Tabla 1. Estructura de algunos ácidos grasos comunes (McMurry, 2008).

Nombre	Núm. de carbonos	Punto de fusión (°C)	Estructura
<i>Saturados</i>			
Láurico	12	43.2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$
Mirístico	14	53.9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$
Palmitico	16	63.1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$
Esteárico	18	68.8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$
Araquídico	20	76.5	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CO}_2\text{H}$
<i>Insaturados</i>			
Palmitoleico	16	-0.1	$(Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Oleico	18	13.4	$(Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Linoleico	18	-12	$(Z,Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$
Linolénico	18	-11	$(\text{todos } Z)\text{-CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$
Araquidónico	20	-49.5	$(\text{todos } Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$

4.2 Estándar del aceite vegetal

Densidad: las variedades de aceite vegetal no difieren demasiado en términos de densidad. Como media, la densidad es aproximadamente un 10% superior.

Punto de ignición: es mucho mayor que en el caso del diesel. Hace su transporte y manejo mucho más fácil.

Valor calorífico: es casi el mismo para todos los aceites vegetales, pero un 10% menor en comparación al diesel. Debido a su mayor densidad, el contenido volumétrico del valor de calor es aproximadamente el mismo.

Viscosidad cinemática: para la mayoría de los aceites vegetales mayor que el diesel. Existen grandes diferencias entre las diferentes clases de semillas. Si es demasiado alta, el aceite no puede circular a través del circuito. Calentar es una de las medidas para permitir al motor funcionar con aceite vegetal.

Comportamiento a baja temperatura: no existe ninguna especificación definida hasta ahora. Aunque el comportamiento a baja temperatura es de importancia para el encendido en frío del motor y baja carga.

Índice de iodo: es un indicador de los enlaces dobles en la estructura molecular. Influye en la estabilidad a largo plazo de las propiedades (importante para el almacenamiento).

Índice de Acidez: muestra el contenido de ácidos grasos libres. Puede afectar a las propiedades del aceite lubricante si grandes cantidades alcanzan el cárter del aceite.

Estabilidad oxidativa: describe el pre-envejecimiento del aceite. Con el progresivo aumento en la edad aumenta igualmente la viscosidad. Puede influir también el aceite lubricante.

Humedad: si se encuentra emulsionado, un contenido alto en agua no representa una desventaja (siempre que la emulsión permanezca estable, cosa muy difícil). Normalmente el agua causará problemas en cualquier parte del sistema de combustible.

La experiencia práctica muestra: las propiedades características pueden de algún modo no ser influidas, pero sí las variables. Por lo tanto, un análisis superficial de la calidad del aceite debe centrarse en:

- Contaminación
- Contenido en fósforo
- Contenido en agua

4.3 Aceites vegetales residuales

Los aceites vegetales residuales, son aquellos que han perdido las características fisicoquímicas que tenían antes de su uso en los procesos de preparación de alimentos, esto se debe principalmente por la exposición a altas temperaturas.

Los aceites residuales del proceso de fritura provenientes de la industria alimentaria, que por sus condiciones fisicoquímicas, no son aptos para seguir siendo usados en el procesamiento de comestibles, se originan principalmente en los procesos que involucran fritura profunda de alimentos, la cual utiliza temperaturas mayores a 180°C. La exposición del aceite a altas temperaturas, así como su reutilización generan cambios graduales tanto en su composición química y física como en sus propiedades organolépticas, afectando la calidad de los alimentos y del aceite.

Actualmente se llevan a cabo prácticas inadecuadas con respecto al uso de los AVR, como por ejemplo: i) Uso reiterado y sin reemplazo del aceite aun cuando se ha deteriorado totalmente, ii) Fritura indiscriminada de una amplia variedad de alimentos por intervalos de tiempos prolongados, lo que acelera los procesos de degradación, iii) Recolección y recuperación artesanal de los aceites usados de diferentes fuentes, los que posteriormente son reingresados al mercado informal de comidas rápidas a un costo menor, iv) Uso de los AVR como base para la fabricación de comida para animales (Quiñones, 2003).

Los AVR constituyen uno de los residuos de mayor impacto ambiental en el sector de alimentos, ya que si se descargan a los sistemas de alcantarillado elevan la carga orgánica, por encima de los niveles normales que se manejan en aguas domésticas, afectando los tratamientos posteriores (Quiñones, 2003).

Actualmente, en otros países como Chile, existen como alternativa de disposición la entrega del residuo en instalaciones que lo mezclan con otros aceites y solventes para ser utilizados como combustible alternativo en cementeras.

La práctica de recolectar y reutilizar los AVR generan un alto riesgo para la salud de los consumidores ya que de acuerdo con el tipo de alimento sometido a la fritura, este absorbe entre un 5 y 20% del aceite utilizado, por lo que puede aumentar en forma importante la cantidad de compuestos peligrosos como los que aporta un aceite degradado al alimento (Franco, 2001).

Entre los compuestos que se generan por la degradación del aceite se encuentran:

4.3.1. Compuestos volátiles.

Las reacciones oxidativas que implican la formación y descomposición de hidroperóxidos conducen a compuestos tales como aldehídos saturados e insaturados, cetonas, hidrocarburos, lactonas, alcoholes, ácidos y ésteres. Tras el calentamiento del aceite durante 30 minutos a 180°C, en presencia de aire, pueden detectarse por cromatografía en fase gaseosa productos de oxidación volátiles primarios. La cantidad de productos volátiles varía ampliamente, dependiendo del tipo de aceite, el alimento y el tratamiento térmico, pero generalmente alcanza un valor meseta, debido probablemente a que se alcanza un equilibrio entre la formación de volátiles y su pérdida por evaporación o descomposición.

4.3.2. Compuestos polares no poliméricos de volatilidad moderada (hidroxi y epoxy ácidos).

Estos compuestos se producen a lo largo de varias rutas oxidativas, en las que participan los radicales alcoxi.

4.3.3. Dímeros y polímeros de ácidos y glicéridos.

Estos compuestos se generan por combinaciones térmicas y oxidativas de radicales libres. La polimerización produce un aumento sustancial de la viscosidad del aceite de fritura.

4.3.4. Ácidos grasos libres.

Estos compuestos se producen por hidrolisis de los triacilglicerolos, por el calentamiento en presencia de agua (Fennema, 2000).

Las reacciones descritas son responsables de diversos cambios físicos y químicos observables en el aceite a lo largo de la fritura. Entre estos cambios, cabe destacar el incremento de la viscosidad y el contenido de ácidos grasos libres, el desarrollo de un color oscuro, el descenso del índice de yodo y la tención superficial, la modificación del índice de refracción y un aumento en la tendencia a la formación de espuma.

El deterioro de aceites vegetales es inevitable cuando se emplean a altas temperaturas; sin embargo, no todos los aceites se degradan de la misma manera ya que dependen del tipo y cantidad de ácidos grasos que contengan. Los aceites con bajo contenido de ácidos grasos insaturados (aceite de palma), son mucho más estables que los aceites con alto contenido de ácidos grasos insaturados (aceite de oliva y soya). Con el fin de mejorar la estabilidad térmica de los aceites insaturados, es común el uso con mezclas con aceites saturados, por ejemplo soya-oleína de palma (en proporciones que no superan el 30% de oleína) (Du Plessis, 1981).

4.4. Principales reacciones de degradación.

4.4.1. Hidrolisis.

En contacto con la humedad del alimento, los triglicéridos liberan cadenas de ácidos grasos, incrementándose la acidez del aceite con la aparición de metilcetonas y lactonas que pueden producir olores desagradables. Durante la fritura, a temperaturas de 180-190°C el proceso de hidrolisis tiene poca importancia puesto que la humedad tiende a eliminarse en forma de vapor, aunque algunos autores describen contenidos de agua del 0.5 al 1.5% (Du Plessis, 1981).

4.4.2. Oxidación térmica o Autooxidación.

La autooxidación es un proceso oxidativo no enzimático muy frecuente en los procesos de fritura, se caracteriza por la oxidación de los ácidos grasos en presencia de oxígeno del aire, que da lugar a compuestos intermedios inestables denominados hidroperóxidos y peróxidos (formadores de radicales libres). La descomposición térmica de los hidroperóxidos produce gran cantidad de productos de escisión y material de alto peso molecular, especialmente dímeros, que en presencia de oxígeno forman grandes cantidades de grupos hidroxilo y carbonilo. Los ácidos grasos insaturados son los más sensibles a la autooxidación.

Las grasas que han sufrido de un proceso de oxidación tienden a oscurecerse, aumentar la viscosidad, incrementar la formación de espuma y sabores y olores desagradables. El cambio en el color, se produce por la transformación de las sustancias presentes en los alimentos como azúcares, almidones y proteínas que sufren reacciones de maillard (Cuesta, 1991).

4.4.3. Polimerización.

Los polímeros formados provienen en su gran mayoría de los ácidos grasos poliinsaturados y radicales libres que tienden a combinarse entre ellos formando compuestos lineales más o menos largos y ramificados o compuestos cíclicos.

La polimerización se debe a la descomposición de los peróxidos, que forman radicales libres alquílicos y agua, que a su vez atacan a otros hidroperóxidos produciendo más radicales que finalmente se dimerizan.

Los polímeros, al aumentar de tamaño y peso molecular, incrementan la viscosidad del aceite, favoreciendo la formación de espuma y por tanto la oxidación, por otro lado producen un arrastre mayor de aceite por parte del producto frito debido a que gotea con más dificultad. Estos forman en la superficie del aceite y los freidores una capa de consistencia plástica, muy adherente y difícil de eliminar.

4.5. Entorno comercial.

Los AVR ofrecen una alternativa de bajo costo y aceptable disponibilidad como materia prima para la reutilización y producción de otros productos, o el poder darles un uso diferente para el que originalmente fueron elaborados, como puede ser el sustituto de aislantes en transformadores eléctricos. Estudios realizados en 7 países de la unión europea muestran que se recolectan cerca de 400.000 ton de AVR por año, y se espera que esta cifra pueda incrementarse a 700.000 ton.

**Producción mundial de aceites vegetales.
(Millones de toneladas)**

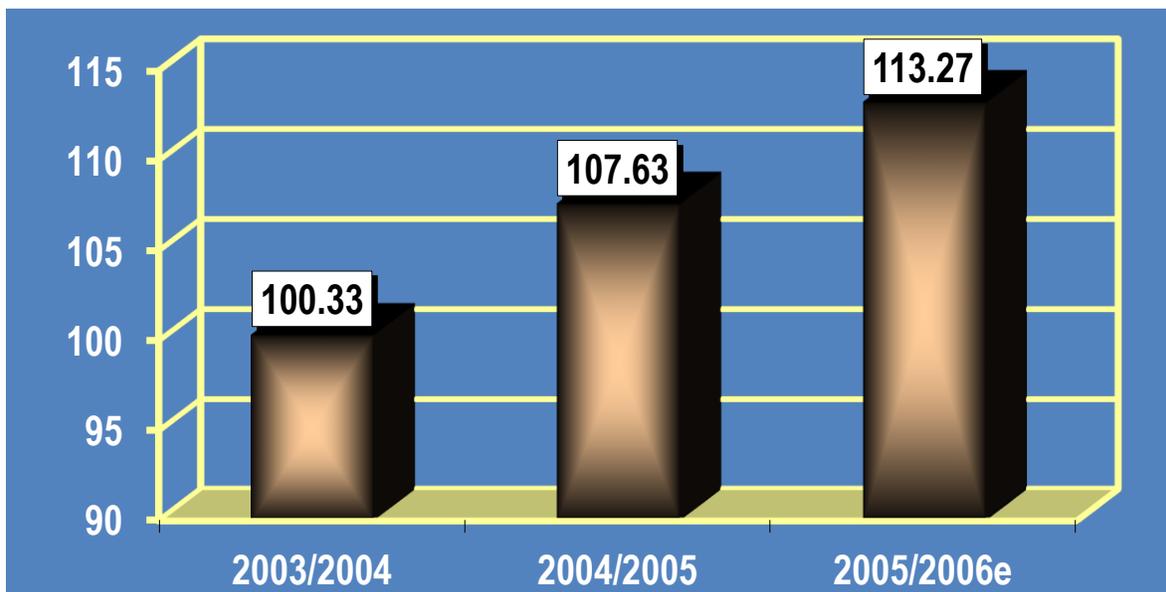


Figura 4. Dato estimado para el ciclo 2003-2004. ANIAME. Asociación nacional de industrias de aceites y mantecas comestibles, A.C.)

Principales Productores de Aceites Vegetales.

Octubre 2005/Septiembre 2006

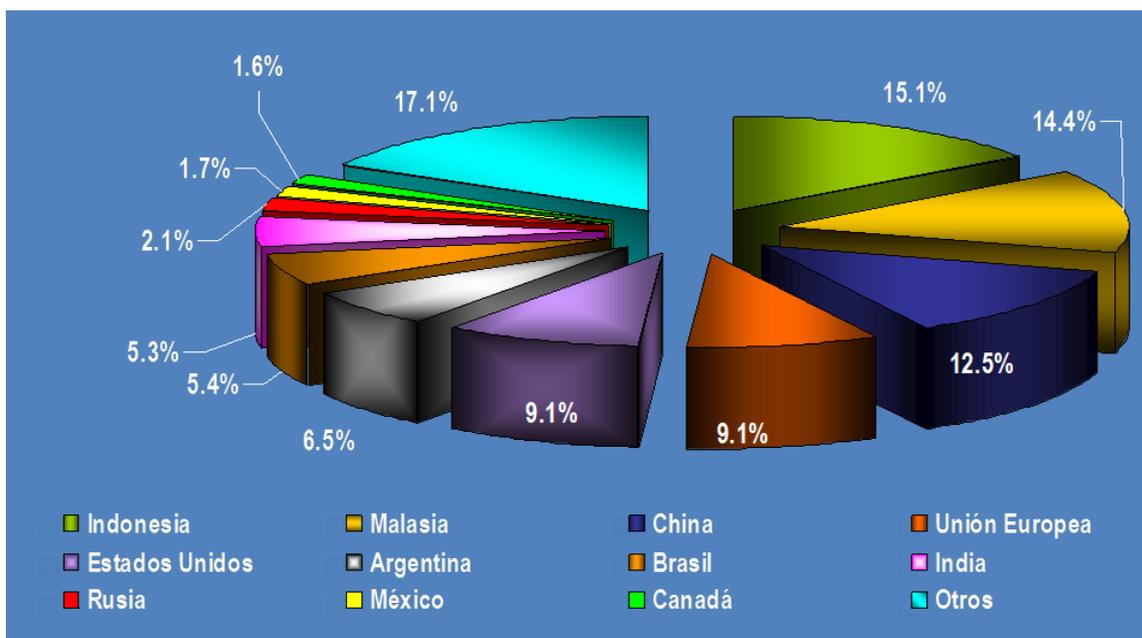


Figura 5. Productores de aceites vegetales. ANIAME: Asociación nacional de industrias de aceites y mantecas comestibles, A.C.

4.5.1. Mercado mexicano de aceites y grasas.

La producción y el consumo de aceites y grasas comestibles, está estrechamente vinculado con el desempeño de la economía mexicana.

Un mayor poder de compra de los consumidores fomentará la inclusión de más aceites y grasas en sus dietas. El mercado mexicano de productos oleicos es un mercado de precios.

Producción Mexicana de Aceites Vegetales
(Miles de Toneladas Métricas)

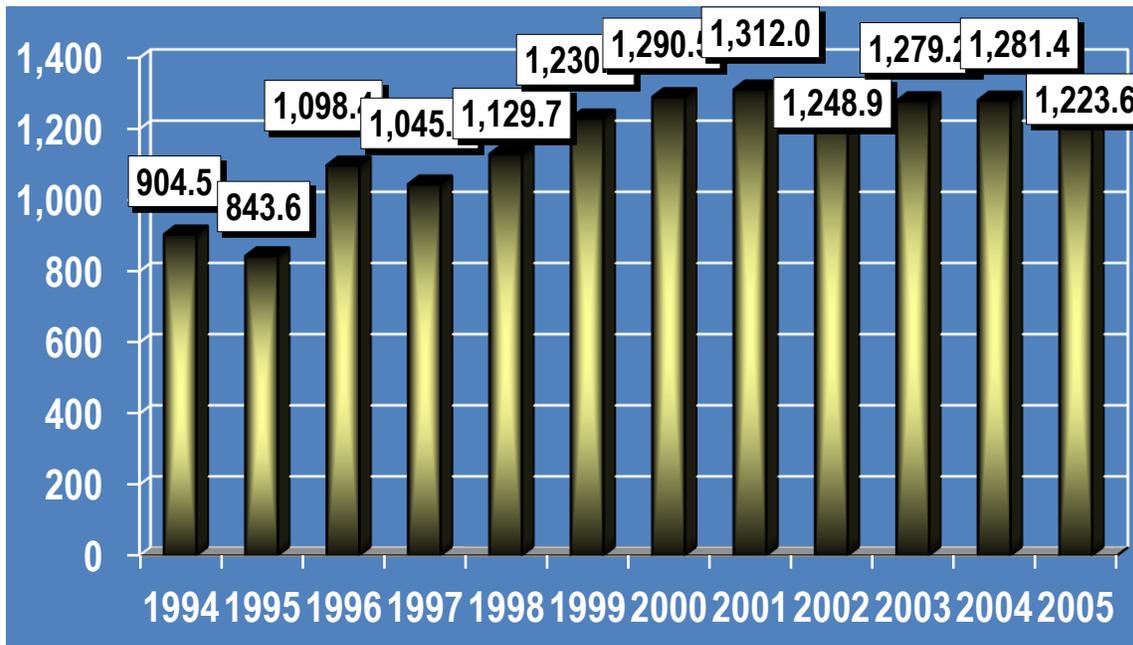


Figura 6. Producción mundial de aceites. ANIAME: Asociación nacional de industrias de aceites y mantecas comestibles, A.C.

4.6. Impacto ambiental y social de los aceites vegetales residuales (AVR)

4.6.1. Salud humana

Hay varias formas en que el AVR incide negativamente en la salud humana. Los principales son: por ingesta directa de dioxinas, o por ingesta indirecta de dioxinas a través de la carne de animales que fueron alimentados con alimentos que contenían AVR y por contaminación del aire con dioxinas, por la quema de los mismos.

Hay personas que sin escrúpulos recogen el aceite usado de cocina, y lo limpian, mezclan un poco, y lo vuelven a vender para consumo humano. Esto es un riesgo enorme para la salud, en primer lugar porque que estas operaciones ilegales se realizan generalmente en lugares insalubres.

Además, una vez que el aceite vegetal ha sido sometido a temperaturas elevadas, genera dioxinas, un agente cancerígeno muy agresivo, y uno de los químicos que

tienen la dudosa fama de pertenecer a la “docena sucia” de contaminantes orgánicos. Finalmente, los componentes benéficos del aceite vegetal de cocina conocidos como CIS, por efecto de exposiciones repetidas al calor, cambian a los TRANS, que son difíciles de digerir y eliminar, y que tienen efectos tremendos sobre la salud humana al reducir el colesterol bueno y aumentar el malo.

México ocupa hoy el primer lugar mundial en obesidad infantil y el segundo en obesidad en adultos. Más allá del carácter anecdótico, la obesidad representa graves riesgos para la salud y costos muy elevados en el tratamiento de dos enfermedades asociadas a la obesidad: diabetes y complicaciones en el aparato circulatorio y corazón. De continuar esta situación, el sistema de salud de nuestro país podría colapsar en 10 años.

4.6.2. Salud animal

Afecta principalmente por la transferencia de dioxinas y trans del AVR a los animales y de allí, al ser humano a través de la carne animal.

El aceite usado de cocina se usa en alimentos para animales lo cual está ya prohibido en muchos países desarrollados del mundo (en la Unión Europea se prohibió a partir del caso de contaminación de carne de pollo con dioxinas en Bélgica), dado que esta práctica está considerada además como una de las probables causas de la Encefalopatía Bovina Espongiforme (La enfermedad de las vacas locas). Algunos criaderos de cerdos, pollos y vacunos principalmente, dan aceite vegetal usado de cocina directamente como alimento a los animales, para incrementar la grasa y peso corporal en los mismos, con todo y los residuos sólidos. Las dioxinas son elementos altamente estables que se almacenan con facilidad en las grasas animales.

Por tanto, existe transferencia de dioxinas y trans al ser humano a través de la carne animal. Hay casos tan recientes como a finales del 2008, en Irlanda donde se contaminó carne de cerdo con dioxinas por piensos hechos, entre otros productos, con aceite usado de cocina, o en Chile, donde Corea y Japón

detectaron altos niveles de dioxinas en la carne de cerdo que exportaban criaderos de ese país también, probablemente, por el mismo motivo.

El fenómeno ha adquirido proporciones tan preocupantes que los profesionales de la salud se han visto obligados a dar la voz de alarma.

4.6.3. Contaminación en el agua

Un litro de AVR puede contaminar hasta 1,000 litros de agua, o lo que es lo mismo, la cantidad de agua que toma una persona promedio durante 1.15 años. Según Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI, 2010). Aunque otras estimaciones indican que el potencial es de 1 a 10,000 litros, es decir, un litro de aceite podría contaminar 10,000 litros de agua, la ingesta de una persona promedio por 11.5 años (no hay que confundir con el potencial contaminante de 1 litro de aceite usado de coche, que sí puede contaminar un millón de litros de agua).

También aumenta los costos de las plantas de tratamiento de agua y tapa los drenajes. Si el aceite usado de cocina se tira directamente al drenaje, lo tapa y es alimento para roedores y cucarachas. La combinación del aceite usado de cocina y detergentes es muy problemática.

El AVR también incrementa en un 30% los costos anuales de operación y mantenimiento de las plantas depuradoras de agua. Si finalmente llega a los ríos y lagos, forma una película que afecta a su capacidad de intercambio de oxígeno y altera el ecosistema.

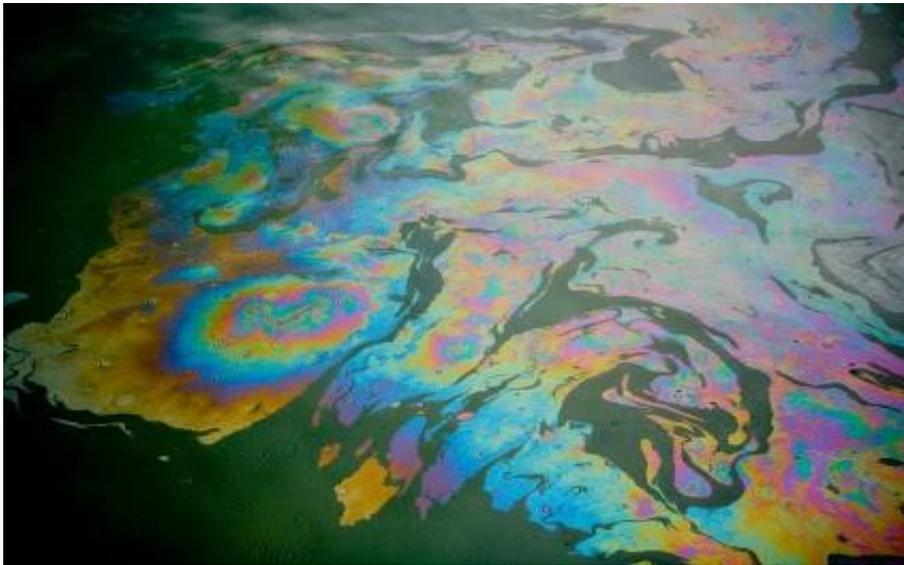


Figura 7. Contaminación del agua con aceite vegetal residual (Venezblogger. 2013).

4.6.4. Contaminación en el suelo

Si se dispone del aceite usado de cocina directamente en tiraderos de basura, contribuye a la generación y permeabilidad de los lixiviados. La materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos (RSU) se degrada formando un líquido contaminante, de color negro y de olor muy penetrante, denominado lixiviado. Este líquido arrastra todo tipo de sustancias nocivas (hasta 200 compuestos diferentes), algunos de ellos tóxicos y hasta cancerígenos. La humedad de los residuos y la lluvia son los dos factores principales que aceleran la generación de lixiviados.

Si no se controlan adecuadamente, los lixiviados pueden contaminar los suelos y las aguas superficiales y subterráneas (acuíferos). Como se trata de un proceso contaminante que se produce de manera lenta, sus efectos no suelen percibirse hasta varios años después.

4.6.5. Contaminación en el aire

El aceite usado de cocina se usa como combustible directo en hornos y calderas. La combustión del AVR a baja temperatura así como en procesos de incineración incompletos, genera dioxinas que van directamente a la atmósfera.

Entre los posibles efectos de las dioxinas en el aire se incluyen toxicidad dérmica, inmunotoxicidad, efectos reproductivos negativos y teratogenicidad, así como perturbadores del sistema endocrino y hay que recordar que son carcinógenas. A la fecha, el único efecto persistente asociado con la exposición a dioxinas en el aire en los seres humanos es el cloracné. Los grupos más sensibles a estas sustancias químicas son los fetos y los neonatos.

En resumen la inadecuada disposición de los AVR supone serios problemas en:

- i. Contaminación ambiental asociada a la toxicidad de este residuo, en los ecosistemas receptores, que generalmente corresponden a cuerpos de agua. Además, la formación de una capa superficial que disminuye el paso de luz e impide el intercambio de oxígeno entre el agua y el aire.
- ii. Obstrucción de las líneas de drenaje y alcantarillado municipales, debido a la formación de una capa superficial al interior de las tuberías que progresivamente disminuye el diámetro de las mismas, traduciéndose en mayor probabilidad de inundación durante las épocas de lluvia, malos olores y atracción de plagas.
- iii. Mayores costos e inconvenientes de las plantas de tratamientos de aguas residuales y de mantenimiento de los sistemas de drenaje y alcantarillado municipales.
- iv. Salud pública asociada a la generación de compuestos tóxicos, incluso del tipo cancerígeno, durante la reutilización del AVR a altas temperaturas. Estos compuestos pueden clasificarse en aquellos originado por la degradación del aceite y los contaminantes liposolubles, como es el caso de las dioxinas, bifenilos policlorados (PCB's) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) (Boatella y Codony,, 2000).

4.7. Introducción a los procesos de adsorción.

En los procesos de adsorción, uno o más componentes de una corriente de gas o de líquido se adsorben en la superficie de un sólido y se lleva a cabo una separación. En los procesos comerciales, el adsorbente generalmente tiene la forma de partículas pequeñas en un lecho fijo. El fluido se hace pasar

por el lecho y las partículas sólidas adsorben componentes del fluido. Cuando el lecho está casi saturado, el flujo se detiene y el lecho se regenera térmicamente o por otros métodos, de modo que ocurre una desorción. Así se recupera el material adsorbido (adsorbato) y el adsorbente sólido queda listo para otro ciclo de adsorción.

Entre las aplicaciones de la adsorción en fase líquida están la eliminación de compuestos orgánicos del agua o de soluciones orgánicas, la eliminación de impurezas coloreadas de sustancias orgánicas y la eliminación de diversos productos de fermentación de las descargas de los fermentadores. Las separaciones incluyen la de parafinas de compuestos aromáticos y la de fructuosa de glucosa utilizando zeolitas.

Las aplicaciones de la adsorción en fase gaseosa incluyen la eliminación de agua de hidrocarburos gaseosos, la de componentes azufrados del gas natural, la de disolventes del aire y de otros gases, y la de olores del aire.

4.8. Propiedades físicas de los adsorbentes.

Se han desarrollado muchos adsorbentes para una amplia gama de separaciones. Por lo común, los adsorbentes tienen forma de pelotitas, pequeñas cuentas o gránulos cuyo tamaño va de cerca de 0.1 mm a 12 mm, y las partículas más grandes se usan en los lechos empacados. Una partícula de adsorbente tiene una estructura muy porosa, con numerosos poros muy finos cuyo volumen alcanza hasta el 50% del volumen total de la partícula. La adsorción suele ocurrir como una monocapa sobre la superficie de los poros, pero a veces se forman varias capas. La adsorción física, o de Van der Waals, por lo general sucede entre las moléculas adsorbidas y la superficie interna sólida del poro, y es fácilmente reversible (Geankoplis).

El proceso de adsorción global consta de una serie de pasos. Cuando el fluido pasa alrededor de la partícula en un lecho fijo, el soluto primero se difunde desde el volumen del fluido hacia toda la superficie exterior de la partícula. Luego, el soluto se difunde hacia el interior del poro hasta

la superficie del mismo. Por último, el soluto se adsorbe sobre la superficie. Así, el proceso de adsorción global es una serie de pasos.

Existen varios adsorbentes comerciales y algunos de los principales se describen en seguida. Todos se caracterizan por grandes áreas superficiales de los poros, que van desde 100 hasta más de 2000 m²/g

1. Carbón activado. Éste es un material micro-cristalino que proviene de la descomposición térmica de madera, cortezas vegetales, carbón, etc., y tiene áreas superficiales de 300 a 1200 m²/g con un promedio de diámetro de poro de 10 a 60 Å. Las sustancias orgánicas generalmente se adsorben en carbón activado.

2. Gel de sílice. Este adsorbente se fabrica tratando con ácido una solución de silicato de sodio y luego secándola. Tiene un área superficial de 600 a 800 m²/g y un promedio de diámetro de poro de 20 a 50 Å. Se utiliza principalmente para deshidratar gases líquidos y para fraccionar hidrocarburos.

3. Alúmina activada. Para preparar este material se activa el óxido de aluminio hidratado calentándolo para extraer el agua. Se usa ante todo para secar gases y líquidos. Las áreas superficiales fluctúan entre 200 y 500 m²/g con un promedio de diámetro de poro de 20 a 140 Å.

4. Zeolitas tipo tamiz molecular. Estas zeolitas son aluminosilicatos cristalinos porosos que forman una red cristalina abierta que tiene poros de uniformidad precisa. Por tanto, el tamaño uniforme del poro es diferente al de otros tipos de adsorbentes que tienen una gama de tamaños de poro. Las diversas zeolitas tienen tamaños de poro que van de cerca de 3 a 10 Å. Las zeolitas se usan para secado, separación de hidrocarburos y de mezclas y muchas otras aplicaciones.

5. Polímeros resinas sintéticas. Se fabrican polimerizando dos tipos principales de monómeros. Los que se generan a partir de compuestos aromáticos como el estireno y el divinilbenceno se usan para adsorber

compuestos orgánicos no polares de soluciones acuosas. Los que provienen de ésteres acrílicos se utilizan para solutos más polares en soluciones acuosas.

4.8.1. Gravas, arenas y arcillas.

Otros tipos de adsorbentes que se usan para purificar diversos líquidos contaminados son las gravas, arenas y arcillas. Estos materiales no son consolidados, provienen de yacimientos minerales no metálicos.

Tabla 2. Características de los yacimientos de estos materiales (Promedio de diez análisis, R.H Nanz Jr, 1954).

MATERIAL	GRAVA	ARENA	ARCILLAS
CARACTERISTICAS			
ASPECTO	Fragmentos de rocas	Granos o detritos minerales	Lodo fino
COMPOSICION MINERALOGICA	De un solo tipo de roca o mezcla de dos o mas	Diferente: composición sin embargo predominan ampliamente los feldespatos y principalmente el cuarzo	Caolinita montmorillonita, illita, y clorita; detritos minusculos de cuarzo y feldespato; cemento calcareo ó pedernaloso
DIMENSIONES (SEGUN EL SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS, S.U.C.S.)	4.69 mm. - 76.2 mm.	0.074 mm - 4.69 mm.	< 0.07

Tabla 3. Composición general de gravas, arenas y arcillas (Promedio de diez análisis, R.H Nanz Jr, 1954.)

COMPONENTE	Arenita		Arcosa		Grauwacka		Subgrauwacka	
	(1)a	(2)b	(3)c	(4)d	(5)e	(6)f	(7)g	(8)h
SiO ₂	93.13	99.58	75.57	76.37	64.7	68.1	76.84	65.0
TiO ₂	-	-	0.42	0.41	0.5	0.7	-	-
Al ₂ O ₃	3.86	0.31	11.38	10.63	14.8	15.4	11.76	9.6
Fe ₂ O ₃	0.11	1.20	0.82	2.12	1.5	3.4	0.55	1.6
FeO	0.54	-	1.63	1.22	3.9	3.4	2.88	1.1
MnO	-	-	0.05	0.25	0.1	0.2	-	-
MgO	0.25	0.10	0.72	0.23	2.2	1.8	1.39	0.4
CaO	0.19	0.14	1.69	1.30	3.1	2.3	2.57	2.1
Na ₂ O	-	0.10	2.45	1.84	3.1	2.6	2.57	2.1
K ₂ O	-	0.03	3.35	4.99	1.9	2.2	1.62	1.4
P ₂ O ₅	-	-	0.30	0.21	0.2	0.2	-	-
SO ₃	-	-	-	-	0.4	-	-	-
CO ₂	-	-	0.51	0.54	1.3	-	-	6.9
H ₂ O+	1.43	0.03	1.06	0.83	2.4	2.1	1.87	0.8
H ₂ O-	1.43	0.03	0.05	0.83	0.7	2.1	-	0.2
TOTAL	99.51	101.49	100.00	100.94	100.8	102.4	100.8	99.2

También se pueden usar compuestos orgánicos como materiales adsorbentes que pueden darle ciertas propiedades al fluido con el que se ponga en contacto, como la cascara de huevo.

La cáscara de huevo esta primariamente compuesta de carbonato de calcio (CaCO₃). En la mayoría de los casos, también hay residuos de magnesio en la celosía del carbonato. Se puede realizar un análisis cuantitativo de la presencia de cada elemento en la celosía cristalina de la cáscara de huevo mediante la difracción de Rayos X (XRD) y análisis Rietveld (H. Charley. Ed Limusa, 2006).

4.9 Diseño de columnas de adsorción de lecho fijo.

4.9.1. Introducción y perfiles de concentración.

Un método muy usado para la adsorción de solutos de líquidos o gases emplea un lecho fijo de partículas granulares. El fluido que se va a tratar se hace descender a través del lecho empacado a una tasa de flujo constante. La

situación es más compleja que la de un simple proceso por lotes en un tanque agitado que alcanza el equilibrio. En el proceso de lecho fijo son importantes las resistencias a la transferencia de masa, y el proceso se lleva a cabo en estado no estacionario. La eficiencia del proceso depende de la dinámica global del sistema, y no sólo de las consideraciones de equilibrio.

Las concentraciones del soluto en la fase fluida en la fase adsorbente sólida cambian con el tiempo y también con la posición en el lecho fijo conforme prosigue la adsorción. En la entrada del lecho se supone que el sólido no tiene soluto al principio del proceso; a medida que el fluido entra en contacto con la entrada del lecho, se realiza la mayor parte de la transferencia de masa y de la adsorción. Cuando el fluido pasa a través del lecho, su concentración va disminuyendo muy rápidamente con la distancia hasta llegar a cero mucho antes del final del lecho. El perfil de concentración al principio, en el tiempo t_1 , se muestra en la figura 12.3-1a, donde la relación de concentraciones c/c_0 se grafica en función de la longitud del lecho. La concentración del fluido es la de la alimentación y c es la concentración del fluido en un punto del lecho.

Después de cierto tiempo, el sólido que se encuentra cerca de la entrada de la torre está casi saturado, y la mayor parte de la transferencia de masa y de la adsorción sucede ahora en un punto ligeramente más lejano a la entrada. En un tiempo posterior t_2 el perfil o la zona de transferencia de masa donde ocurre la mayor parte del cambio de concentración, se ha desplazado más lejos dentro del lecho.

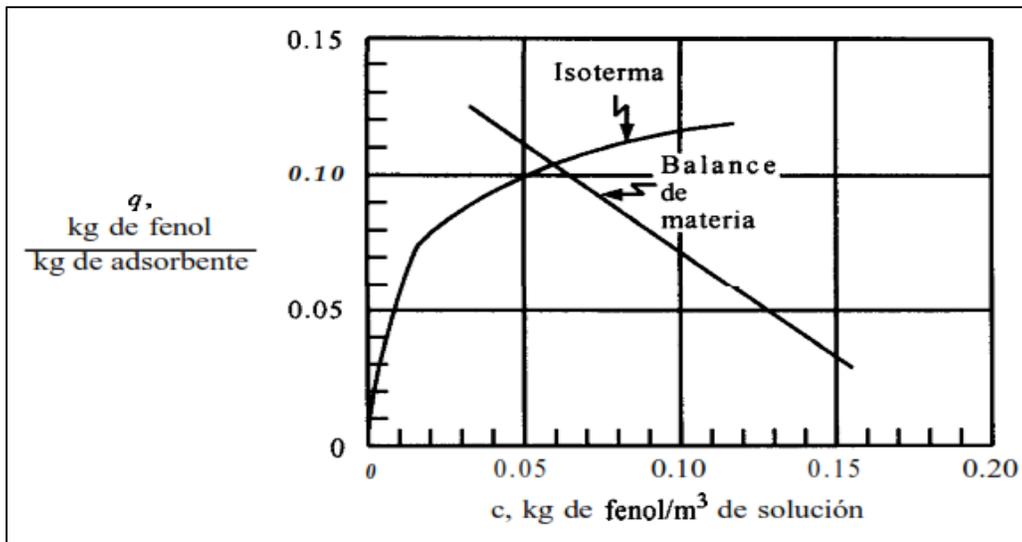


Figura 8. Solución al ejemplo citado (Fuente. C.J. Geankoplis, 1998).

4.10. Tratamiento de grasas y aceites residuales.

Las grasas y aceites residuales generalmente son tratados, dependiendo del origen de estos y los fines para los que serán destinados. Hay plantas especializadas para la recuperación de aceites, existen plantas como las de tratamiento químico y las estaciones de transferencia que separan el aceite del agua antes de ser enviada a otras plantas especializadas para seguir con el proceso.

Existen algunas plantas dedicadas al proceso de purificación, quitando los sedimentos y el agua al aceite usado.

4.11. Aceites para transformadores eléctricos.

4.11.1. Introducción

La supervisión y el mantenimiento de la calidad del aceite son esenciales para asegurar el buen funcionamiento de los equipos eléctricos aislados en aceite.

Un análisis de la experiencia actual revela una gran variedad de procedimientos y de criterios utilizados. Sin embargo, es posible comparar el valor y el significado de los ensayos normalizados del aceite y recomendar criterios uniformes de evaluación de los resultados de los ensayos.

Las dificultades son mucho mayores al decidir la frecuencia de los ensayos y de los niveles límites aceptables de degradación del aceite aislante en todas sus aplicaciones, teniendo en cuenta las diferencias de explotación, la confiabilidad exigida y el tipo de sistema eléctrico.

Por ejemplo, las grandes empresas de energía eléctrica normalmente considerarían antieconómica la aplicación integral de un programa de ensayos a las transformaciones de baja potencia y tendrán que aceptar un riesgo de falla más elevado. Por el contrario, el usuario industrial, cuyas actividades depende de la confiabilidad de su alimentación de energía eléctrica, deseara aplicar una supervisión más frecuente y más severa de la calidad del aceite como un medio para prevenir cortes de electricidad.

Cuando se excede un nivel de degradación del aceite se reducen los márgenes de seguridad y se deberá considerar el riesgo de un defecto prematuro. Aunque la evaluación del riesgo puede ser muy difícil, una primer etapa consiste en identificar los efectos potenciales de un deterioro acrecentado.

4.11.2. Generalidades de los Aislantes Líquidos

Distinguiremos entre los materiales aislantes polares y no polares. Estos conceptos pueden aplicarse, en general a todos los materiales aislantes, pero en los aislantes líquidos es donde tienen mayor importancia.

Un Material Aislante Polar está caracterizado por un desequilibrio permanente de las cargas eléctricas dentro de una molécula que se denomina dipolo, dos centros simultáneos de distribución de cargas eléctricas (+) y (-), que en presencia de un campo eléctrico tienden a girar.

En los líquidos aislantes polares existe una libre rotación de los dipolos a ciertas temperaturas y frecuencias, lo que ha esos valores de temperatura y frecuencia, hace que desaparezcan sus propiedades aislantes, provocando grandes pérdidas dieléctricas.

En un material no polar no existe desequilibrio permanente de carga, puesto que la molécula no puede ser distorsionada ante la aplicación de un campo eléctrico, por lo tanto no existe esa tendencia al giro. Los materiales no polares, están exentos de variación de las pérdidas dieléctricas por la variación de temperatura y de la frecuencia, y cualquier variación de la constante dieléctrica o del factor de potencia, se produce gradualmente.

Teniendo en cuenta su estructura química, se puede predecir si un material es polar o no polar. La mayoría de los hidrocarburos son no polares, y por consiguiente, los hidrocarburos líquidos y sus derivados serán los mejores aislantes líquidos, es decir, los que conservaran de forma permanente sus propiedades dieléctricas ante cualquier cambio de temperatura y frecuencia.

Entre los materiales aislantes líquidos polares, hay algunos de excepcionales propiedades dieléctricas a determinados valores de temperatura y frecuencia. Estos no tienen una franja de funcionamiento, ni una aplicación tan amplia como los no polares, pues, como se dijo, las pérdidas dieléctricas varían extraordinariamente con variaciones de temperatura y la frecuencia.

Desde el punto de vista electrotécnico, son más interesantes las materiales no polares como aislantes líquidos y a ellos, sobre todo, haremos referencia.

Los líquidos que reúnen buenas condiciones dieléctricas y químicas son casi todos los aceites vegetales y minerales, convenientemente tratados. Para poder juzgar si un aceite, tiene buenas propiedades como aislante, deben tenerse en cuenta las siguientes características:

- i. Escasa tendencia a la sedimentación.
- ii. Casi nulas pérdidas por evaporación.
- iii. Gran estabilidad química.
- iv. Poca variación de su viscosidad ante diferentes valores de temperatura.

- v. Bajo peso específico y coeficiente de dilatación.
- vi. Muy alta temperatura de inflamación.
- vii. Muy baja temperatura de congelamiento.
- viii. Casi nula absorción de humedad.
- ix. Muy elevada rigidez dieléctrica.
- x. Resistividad eléctrica muy alta.
- xi. Buena conductividad térmica.
- xii. Bajo calor específico.

Una de las principales ventajas de todos los aceites aislantes es su propiedad auto regenerativa, después de una perforación dieléctrica o de una descarga disruptiva, sin embargo hay que tener en cuenta, que esta propiedad no es independiente de la energía de la descarga y si esta es muy elevada, puede sobrecalentar el aceite provocando la combustión.

La mayor desventaja de los aceites aislantes es que son inflamables y pueden provocar acciones químicas por arcos eléctricos o por descargas estáticas, con desprendimiento de gases combustibles como hidrógeno o hidrocarburos livianos como metano que se vuelven explosivos al mezclarse con el aire.

Existen algunas sustancias líquidas con buenas propiedades dieléctricas, aunque los fenómenos de oxidación (pérdida de electrones libres) y de polimerización (aglomeración de varias moléculas en una sola), que se dan en presencia de oxígeno y de temperatura elevadas, hacen que las mismas pierdan interés en su uso.

La oxidación, forma depósitos granulosos o de consistencia bituminosa, especie de barro que se deposita en el fondo de la cuba de los transformadores de potencia. Estas alteraciones son más pronunciadas a mayores temperaturas, produciendo verdaderas adherencias sobre los arrollamientos o devanados de los transformadores, que están sumergidos en el aceite. Esta capa adherida, a la

parte metálica es mala conductora del calor, lo que acelera aún más la formación de depósitos bituminosos.

La oxidación de un aislante líquido, se traduce ante todo en un aumento de viscosidad, de la temperatura de inflamación de los vapores y del contenido de ácidos, como consecuencia de estos fenómenos, los aislantes líquidos que también actúan como refrigerantes pueden hacer que queden fuera de uso equipos eléctricos por obstrucción de los canales de circulación, deterioro en los devanados, etc.

El fenómeno de polimerización o aglomeración de varias moléculas en una sola, se presenta en aquellos aislantes líquidos de composición química inestable, aceites de origen vegetal, volviendo al líquido más viscoso y disminuyendo su poder refrigerante. Los fenómenos de oxidación y polimerización están provocados por la presencia de oxígeno, altas temperaturas de funcionamiento, arcos eléctricos seguidos por la ionización, formando sustancias asfálticas que disminuyen su rigidez dieléctrica y poder refrigerante.

Estos procesos progresan en el tiempo, provocando el envejecimiento de los aislantes líquidos, perdiendo progresivamente sus cualidades físicas, químicas y dieléctricas.

Es indudable que la vida útil de un transformador está íntimamente relacionada con la de su sistema de aislación, líquido y sólida. Conociendo además, lo que le puede suceder al aceite aislante cuando está en servicio, se pueden prevenir daños mayores en el mismo, cabe preguntarse qué es lo que se debe hacer y cuáles son los ensayos que proporcionan la mayor información posible sobre el particular. El punto crítico es reconocer el grado de deterioro del aceite aislante antes de que afecte al sistema que se encuentra en un recipiente cerrado, sin posibilidades de realizar inspecciones oculares en forma razonablemente sencilla.

El aceite aislante de los transformadores en servicio sufre normalmente un deterioro progresivo, de acuerdo con las condiciones de uso a que sea sometido. El control del estado del aceite aislante es de gran importancia para el seguimiento y la estimación de la vida útil remanente del equipo. En casi todos los casos el aceite está en contacto con el aire y por lo tanto se producen reacciones químicas de oxidación que son aceleradas por la temperatura y por la presencia de sustancias catalizadoras tales como el hierro, el cobre, compuestos metálicos provenientes de los materiales con que se construye el transformador.

Como resultado de estas reacciones de descomposición, se producen cambios de color y se forman productos ácidos y polares, de manera que el factor de pérdida puede incrementarse y en estados avanzados de oxidación, se producen lodos que precipitan en el interior del transformador. En casos especiales, los cambios de las características del aceite son signos del deterioro anormal de alguno de los materiales utilizados en la construcción del equipo.

Todos estos cambios pueden afectar negativamente a la aislación e interferir con el correcto funcionamiento del equipo acortando su vida útil y en algunos casos aumentando las pérdidas en el vacío.

Cualquier tipo de deterioro de un aceite aislante se pone en evidencia por la variación de una o más características que se describirán a continuación. La aparición de olor y de cambios de coloración, aunque no son decisivos para la toma de decisiones indican una tendencia de cambio en el aceite aislante.

Es de hacer notar que por lo general no basta con hacer un solo tipo de ensayo para determinar el estado de un aceite aislante. El control del estado del aceite permite seguir y estimar la vida útil remanente del equipo.

4.12. Criterios y límites permisibles de acuerdo a la norma IRAM 2026.

Los valores presentados en la tabla deben tomarse como una guía y deben ser interpretados en función del tipo, tamaño e importancia del transformador.

Dependiendo de estas circunstancias, no es necesario realizar la totalidad de los ensayos considerados.

Como regla general, para decidir una acción sobre el aceite, varias características deben ser desfavorables a menos que la rigidez dieléctrica se encuentre por debajo de los límites propuestos. En este caso, independientemente de los valores de las otras características, se impone efectuar la acción que corresponde.

En la práctica, es necesario definir un número mínimo de ensayos y la elección de los mismos debe recaer sobre los que brindan mayor información o por la criticidad de la misma. Se considera que estos ensayos mínimos son rigidez dieléctrica, tangente delta a 90°C y contenido de inhibidor. Este último debe ser reemplazado por la determinación de índice de neutralización en el caso de aceites no inhibidos. Los demás ensayos pueden agregarse en la medida que surjan dudas o valores no habituales en alguno de los considerados indispensables.

4.12.1. Controles del aceite Aislante en Servicio

En la presente tabla se muestra una guía de los ensayos a realizar con qué frecuencia y las medidas que se deben tomar ante los resultados.

Tabla 4. Ensayos para un aceite aislante (IRAM 2026).

Ensayo	Tensión (Kv.)	Método	Frecuencia Sugerida	Valor limite	Acción
Rigidez Dieléctrica	Menor de 132 Entre 66-132 Menor de 66	IRAM 2341	Antes de Energizar A los 3 meses anualmente	Menor 50 Menor 40 Menor 30	Reacondicionar
Índice Neutralización	todas	IRAM 6635	Antes de Energizar Cada dos años	Menor 0,5	Recuperar o cambiar
Contenido Inhibidor	todas	ASTM 1473	Antes de Energizar Cada dos años	Menor 0,05	Recuperar o cambiar
Factor de Pérdida	todas	IRAM 2340	Antes de Energizar Cada dos años	mayor 0,05 a 0,2	Recuperar o cambiar
Tensión Superficial	todas		Antes de Energizar Cada dos años	5 x 10 ³ Nm-1	Recuperar o cambiar
Sedimentos	todas	CEI 422	Cada tres años	No detectar	Recuperar o cambiar
Contenido de Agua	Menor de 132 Entre 66-132	ASTM 1533	Antes de Energizar Cada dos años	Menor 20 ppm Menor 20 ppm	Reacondicionar
Punto de Inflamación	todas	ASTM 1169	Antes de Energizar Cada tres años	15 Grados	Recuperar o cambiar

4.13. Métodos de reacondicionado y de recuperación de aceites aislantes envejecidos en servicio.

Se denomina reacondicionamiento de aceite a la remoción de humedad y partículas sólidas mediante operaciones mecánicas y recuperación del aceite a la eliminación de contaminantes ácidos, coloides y productos de oxidación por medio de reacciones químicas o adsorción superficial.

4.13.1. Reacondicionamiento

Si a causa del agua contenida en un aceite aislante, se acusa un descenso apreciable de la rigidez dieléctrica, debe procederse a la eliminación de la misma.

Uno de los sistemas es por calefacción directa para ello se calienta el aceite hasta unos 100 grados, para ello se utiliza calefacción por medio de resistencia o por insuflación de gases. El primer proceso es sencillo y eficaz pero de larga duración, además si las resistencias superan la temperatura indicada se produce

una fuerte oxidación del aceite, si esta está en contacto con el aire. Se pierde una cantidad apreciable de aceite por evaporación, y el resto adquiere una mayor viscosidad, calentamiento debe prolongarse un largo tiempo hasta que se obtenga un secado satisfactorio. Es un proceso de bajo costo pero con los inconvenientes antes descriptos.

El segundo método similar al anterior produce calentamientos locales, debido a la mala conductividad térmica del aceite, produciendo descomposiciones que reducen la estabilidad química de la misma.

Para mejorar las deficiencias de los métodos anteriores, la calefacción del aceite se la puede realizar en vacío, este requiere un equipo más costoso pero es de una gran eficiencia.

También se puede deshidratar el aceite por centrifugación, para lo cual se coloca el aceite caliente en un tambor giratorio, por lo que el agua y las partículas sólidas que tienen mayor peso específico que el aceite, se precipitan hacia la superficie del tambor pudiéndose separar del aceite. Como la diferencia de pesos específicos entre el agua y el aceite es muy pequeña, la centrifugación se debe realizar por un periodo de tiempo prolongado, hasta que el aceite quede libre de impurezas.

Se puede secar el aceite por medio de filtrado, haciéndola pasar por sustancias hidrosopias tales como cloruro de calcio, y luego con arena calcinada para eliminar casi en forma perfecta el agua contenida en el aislante.

Otra forma es hacer circular el aceite por papel secante, es muy costoso si se desean obtener buenos resultados, porque existe el peligro de incorporar partículas fibrosas procedentes de la celulosa del papel.

El problema queda industrialmente resuelto, mediante el empleo de una membrana filtrante, de un material especial, tratada con reactivos especiales y que actúan sobre el aceite por capilaridad. La entrada de la membrana se somete a la acción de cargas estáticas, si la pared del filtro tiene cargas estáticas del mismo signo que las partículas en suspensión existentes en el seno del aceite que se está filtrando, estas últimas quedan sometidas a una acción repelente y el líquido se clarifica.

4.13.2. Recuperación

La eliminación de los productos de oxidación se consigue mediante el uso de tierras filtrantes y/o reactivos de manera que se produzca la absorción de las impurezas.

Para ello se utilizan tierras filtrantes que son arcillas naturales que poseen una alta actividad superficial. Pueden ser utilizadas en forma natural (previo secado, molienda y clasificación por tamaño) o puede ser calentada, lavada con agua, tratada con vapor de agua o tratada con ácidos, activadas. Estos tratamientos mejoran las propiedades absorbentes del material pero lo encarecen. La alúmina activada es un absorbente eficiente, es mecánicamente muy estable y puede ser reactivada.

En general, la recuperación se hace de acuerdo a dos sistemas de trabajo:

- a) Percolación: a través de tierra filtrante granulada, utilizando gravedad o presión para hacer pasar el aceite a través del manto filtrante.
- b) Por contacto: utiliza tierra filtrante finamente dividida y temperatura de tratamiento relativamente elevada.

4.13.3. Percolación por presión

El aceite es forzado a atravesar la tierra filtrante a través de una bomba. Las instalaciones industriales varían en detalles mecánicos pero en todos los casos poseen un recipiente donde se instala una bolsa o cartucho conteniendo la tierra filtrante. El diseño es tal que el aceite se introduce desde el exterior de la bolsa o cartucho y debe atravesar un determinado manto filtrante antes de abandonar la cámara de tratamiento.

Estas instalaciones pueden procesar grandes volúmenes de aceite en poco tiempo, esto se logra con presiones de (400 KN/m²). Como la cantidad de tierra filtrante es pequeña con respecto al volumen de aceite que pasa, es necesario hacer frecuentes cambios de los filtros.

Para asegurar la continuidad del proceso, se usan varios cartuchos o bolsas en paralelo y provistos de un by-pass, de manera que cuando un filtro se encuentre muy contaminado se pase al siguiente, para mantener una calidad uniforme del aceite recuperado.

La ventaja de este método es que el filtro es más chico, tiene la posibilidad de recuperar mayor cantidad de aceite en igual tiempo que el método por gravedad, ya que se trabaja a presión.

Este sistema es que se puede instalar sobre un camión o acoplado para ser utilizado directamente sobre el transformador cuyo aceite necesite tratamiento. En algunos casos, cuando los transformadores son de gran potencia y no se los pueden dejar fuera por razones de servicio, estos equipos permite hacer el tratamiento sobre transformadores en funcionamiento.

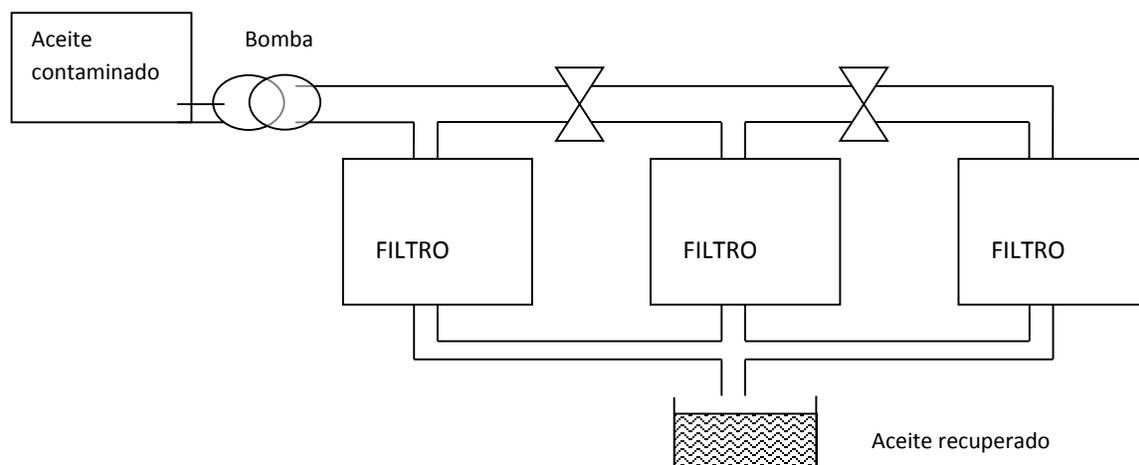


Figura 9. Percolación por presión (IRAM 2026).

4.13.4. Percolación por gravedad

En este caso el aceite es forzado a atravesar el manto de tierra filtrante por la presión hidrostática de una columna de aceite de aproximadamente 5m.

Un sistema típico de percolación por gravedad está constituido por tres tanques a diferentes niveles. El tanque superior se utiliza como depósito del aceite deteriorado, el intermedio como cámara de filtrado y el inferior como cámara de recepción del aceite filtrado.

La producción de un equipo de percolación por gravedad no es de calidad uniforme ya que comienza con un exceso de tratamiento y termina con aceite que ha atravesado el manto agotado.

Para obtener un producto de calidad uniforme es necesario contar con un sistema de mezclado en el tanque inferior. Mediante este método el aceite puede ser recuperado con el grado de calidad que se desee. El rendimiento es 400 lts de aceite por m³ de manto filtrante.

Es un método barato, no requiere mano de obra especializada, solo se debe cuidar que el filtro no se sature.

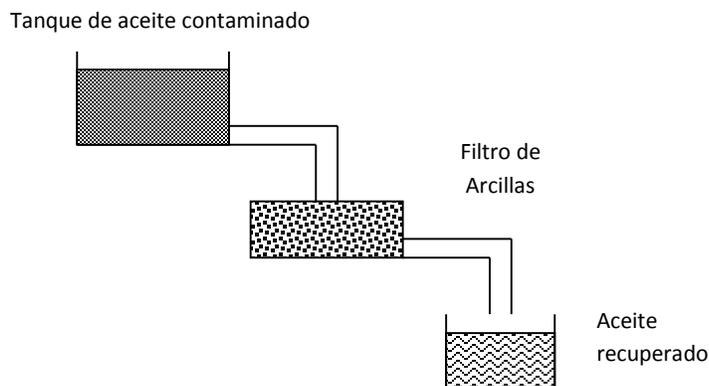


Figura 10. Percolación por gravedad (IRAM 2026).

La elección de uno u otro método depende de cómo se encuentra distribuido el aceite a ser tratado. Grandes volúmenes de aceite concentrado en una distancia pequeña que permita un fácil traslado es más conveniente realizarlo por medio de la percolación por gravedad, que requiere un mínimo de equipamiento menor mano de obra especializada. Por el contrario si el aceite a tratar está disperso en grandes distancias resulta más conveniente y económico un equipo portátil de tratamiento por presión que pueda ser utilizado sobre el mismo transformador, la ventaja que a la vez que se trata el aceite se limpia el transformador de lodos e impurezas. En todos los casos es importante tener las siguientes precauciones:

a) El aceite a recuperar no debe contener grandes cantidades de humedad para evitar que se humedezca la tierra filtrante. El agua causa el taponamiento del manto filtrante, que deberá ser descartado.

b) El aceite recuperado debe ser tratado (después de pasar por el manto filtrante) para eliminar completamente la humedad. Esto es particularmente importante en el caso de trabajar sobre un equipo ya que si no se puede incorporar humedad a la aislación sólida del mismo.

4.13.5. Proceso por contacto

Este proceso utiliza tierra filtrante finamente dividida (malla 200) y temperatura de tratamiento relativamente elevada. Es un proceso eficiente y produce aceite de calidad uniforme.

El aceite a recuperar se introduce en un recipiente mezclador, se agrega la cantidad de tierra filtrante necesaria para obtener un producto de buena calidad. Se agita la mezcla y se calienta durante 30 minutos a 100 grados centígrados, las partículas extrañas se adhieren a la arcilla, pasado este proceso se la deja reposar, y se la filtra usando una bomba para hacerlo fluir. Luego se hace un reacondicionamiento, se mezcla el aceite con agua y se centrifuga (lavado del aceite).

El proceso no es continuo pero puede aplicarse sobre un transformador en servicio ya que la operación tarda alrededor de 45 minutos.

Otros métodos de recuperación consisten realizar la mezcla del aceite con productos químicos

4.13.6. Fosfato trisódico

El método consiste en agitar una mezcla de aceite y solución de fosfato trisódico durante 1 hora a 80o C. Luego se separa el fosfato, se lava el aceite con agua, se centrifuga y se le agrega tierra filtrante para eliminar los restos de fosfato. Esta mezcla se agita durante 15 minutos y luego se deja sedimentar durante varias horas. Finalmente se filtra y se seca

4.13.7. Ácido sulfúrico-cal.

Implica el tratamiento del aceite con ácido sulfúrico concentrado (0,5 a 1% en peso), tratamiento con tierra filtrante y luego agregado de cal para neutralizar el exceso de ácido. Finalmente el aceite debe ser secado y filtrado.

4.13.8. Carbón activado silicato de sodio

Consta de los siguientes tratamientos:

- a) tratamiento con 2% en peso de carbón activado.
- b) mezclado con 30% en volumen de una solución al 2% de silicato de sodio.
- c) tratamiento con 2% de tierra filtrante

Durante todo el proceso el aceite se mantiene a 85 °C.

CAPITULO V

PROBLEMAS A RESOLVER

Este trabajo puede reducir la contaminación generada por las grasas y aceites residuales, que provienen de los diferentes establecimientos donde se preparan alimentos como: restaurantes, cafeterías, cocinas de hospitales y hoteles entre otros, debido a que estos productos de desecho van a dar a diferentes ecosistemas naturales y redes municipales de alcantarillado y agua y así prevenir una contaminación inminente causada por estos desechos.

También se pretende que estos residuos puedan aprovecharse en su totalidad mediante tratamientos de purificación a través de columnas empacadas, para generar un aceite con características aceptables para elaborar diferentes productos y poder darle usos diferentes a los que fueron hechos originalmente, como ejemplo el uso como aislante dieléctrico en transformadores eléctricos.

También se podrá aportar información bibliográfica inexistente, mediante la utilización y acondicionamiento de técnicas y métodos especiales para llevar a cabo el objetivo de este proyecto.

CAPITULO VI

ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1. Alcances

Se obtuvo un aceite mucho más puro y limpio al que se recolectó inicialmente, con propiedades fisicoquímicas más aceptables, y algunas de estas propiedades se ajustaban a la norma IRAM2026.

También se logró diseñar columnas empacadas de filtración, utilizando nuevas técnicas y materiales que ayudaron a purificar el aceite residual.

Con esto también se aporta información bibliográfica sobre los tratamientos para con los aceites residuales.

6.2. Limitaciones

El laboratorio donde se llevó a cabo el proyecto no contaba con los equipos, materiales, reactivos y herramientas necesarias para llevar a cabo todas las determinaciones y análisis, así también no contaba con algunos servicios como es el de gas para los quemadores.

Otro problema generado durante la realización del proyecto fue el tiempo que demoraban las columnas para filtrar una cierta cantidad de aceite, ya que para los análisis de los filtrados, se requerían ciertas cantidades específicas que no se obtenían con la rapidez necesaria.

CAPITULO VII METODOLOGÍA

7.1 Recolección del aceite residual.

El aceite fue recolectado en garrafas de 10, 15 y 20 litros de restaurantes cercanos al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, así como también de la cafetería de la misma institución y de una cocina del hospital regional de Tuxtla Gutiérrez.

Estos residuos de aceite fueron almacenados en el laboratorio de ingeniería ambiental, en los mismos recipientes en los que fueron recolectados, para la disposición en el momento de las pruebas analíticas.

7.2 Diseño de columnas empacadas de filtración.

7.2.1 Selección de los materiales adsorbentes para las columnas.

Se seleccionaron 7 materiales adsorbentes diferentes para las columnas los cuales fueron:

- i. Zeolita.
- ii. Carbón activado
- iii. Resina.
- iv. Arena
- v. Grava
- vi. Cascara de huevo triturada.
- vii. Arcilla.

Estos adsorbentes fueron elegidos en base a la facilidad de la disposición, por el uso que se le ha dado en otro tipo de procesos, como es la purificación en el tratamiento de aguas residuales o para la purificación de aceites provenientes de hidrocarburos, entre otros. Así como también la por las referencias bibliográficas de algunos en otro tipo de procesos donde se usan para columnas empacadas.

7.2.2 Acoplamiento de los adsorbentes seleccionados a las columnas empacadas.

Los 7 adsorbentes fueron colocados por separado dentro de las columnas iniciales, las cuales fueron adecuadas en embudos de seguridad que tenían un papel filtro en la parte final de la columna y una vez empacadas se les colocó una cantidad de aceite para que se comenzara a filtrar, los filtrados de cada columna se recibían en recipientes de plástico para almacenarlos y posterior a eso se les hicieron las pruebas de pH, densidad, viscosidad, índice de acidez y punto de inflamación.

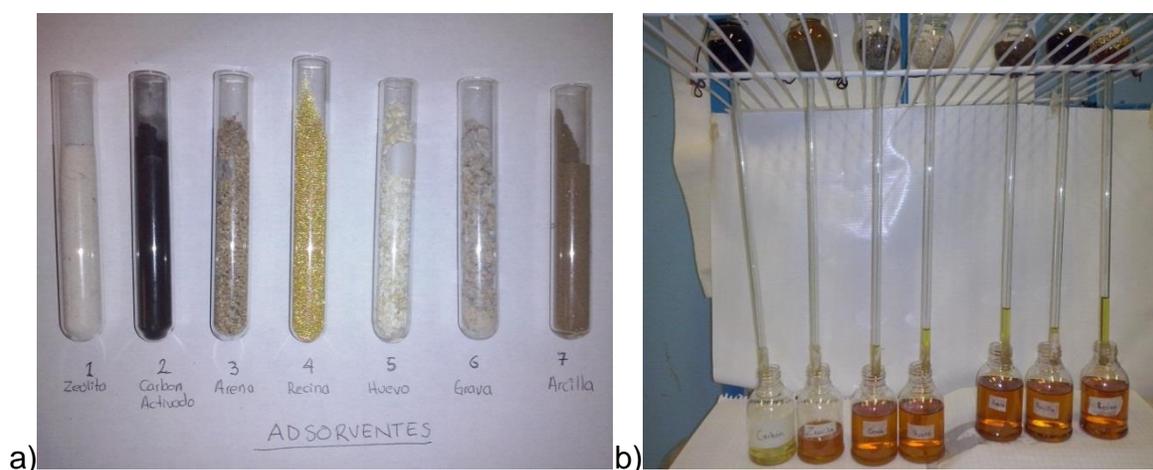


Figura 11. a) Adsorbentes, b) Diseño preliminar de columnas y filtrados de cada adsorbente.

Después del análisis de cada filtrado de las columnas y de acuerdo a los resultados de los mismos, se seleccionaron 5 adsorbentes que dieron mejor resultado de acuerdo a la norma, y estos fueron empacados de nueva cuenta en conjunto, utilizando botellas de plástico vacías, de un refresco comercial de 600 mL, utilizando masas iguales y volúmenes iguales de cada adsorbente y variando el orden de estos dentro de la columna. Los filtrados fueron recolectados en matraces Erlenmeyer de 500 mL, para que posteriormente se le hicieran las determinaciones específicas que marca la norma con la que se está trabajando (IRAM 2026).



Figura 12. Columnas empacadas con los 5 adsorbentes seleccionados.

7.3 Técnicas de análisis para el aceite de acuerdo a la norma IRAM 2026.

7.3.1. Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica disminuye con el tiempo debido a la contaminación del aceite. Este ensayo, quizás el más frecuentemente utilizado. Permite detectar impurezas mecánicas o dicho de otro modo detectar material insoluble en el aceite, tales como fibras, pelusas o agua libre.

El valor de la rigidez dieléctrica es prácticamente independiente del estado químico del aceite, pero su influencia es directa sobre la seguridad del servicio de un transformador, debe ser considerada como uno de los ensayos principales cuando se trata de evaluar el estado dieléctrico de la aislación.

En un ensayo convencional en el cual el valor medido de rigidez dieléctrica depende esencialmente del equipo y del procedimiento utilizado. Consiste en someter a una muestra de aceite contenida en un recipiente apropiado, a una prueba de tensión alterna, cuyo valor se va elevando en forma continua hasta que se produce la descarga disruptiva.

El ensayo se efectúa sobre las muestras tal cual son extraídas, sin secado o desgasificación previa. Como los resultados obtenidos dependen del diseño de los electrodos utilizados, siempre conviene indicar en el informe respectivo de qué tipo de electrodo se trata o que se haga mención explícita de la norma bajo la cual fue realizado el ensayo.

La cantidad mínima de aceite empleada no debe ser menor a 0,25 litros y la distancia entre los electrodos y las paredes del recipiente no inferior a 12 mm.

Al verter el aceite en el recipiente que previamente a sido lavado y secado, se procede de manera que el aceite descienda lentamente a lo largo de las paredes del mismo, con el objeto de evitar la formación de burbujas de aire. Luego se deja reposar durante 10 minutos antes de aplicar la tensión.

Las pruebas o ensayos pueden realizarse de dos formas:

Conservando la separación de los electrodos (2,5 mm.) y aumentando la tensión a aplicar, o conservando constante el valor de la tensión y variando la separación entre electrodos.

En serie con el trayecto de la descarga, se coloca una resistencia de 30 kilo ohms, el secundario del transformador debe dar una tensión mínima de 30 KV., con una potencia de 250 KVA. Para cada prueba se realizan seis descargas, después de cada una se remueve el aceite por medio de una varilla de vidrio bien seca. La primera descarga no se tiene en cuenta, y se toma el valor medio de las cinco restantes.

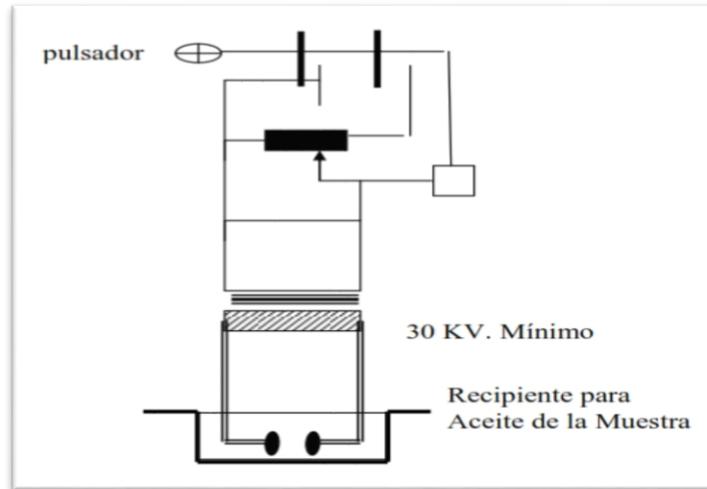


Figura 13. Determinación de rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

Del siguiente gráfico se obtiene el valor del factor K, que corresponde a la distancia entre los electrodos. La rigidez dieléctrica se obtiene de la siguiente manera:

$$E = K \times U \text{ KV./cm}$$

Donde U es la tensión aplicada con un crecimiento de dos kilovolt por segundo y la frecuencia de estar entre los 40 y los 62 hertz.

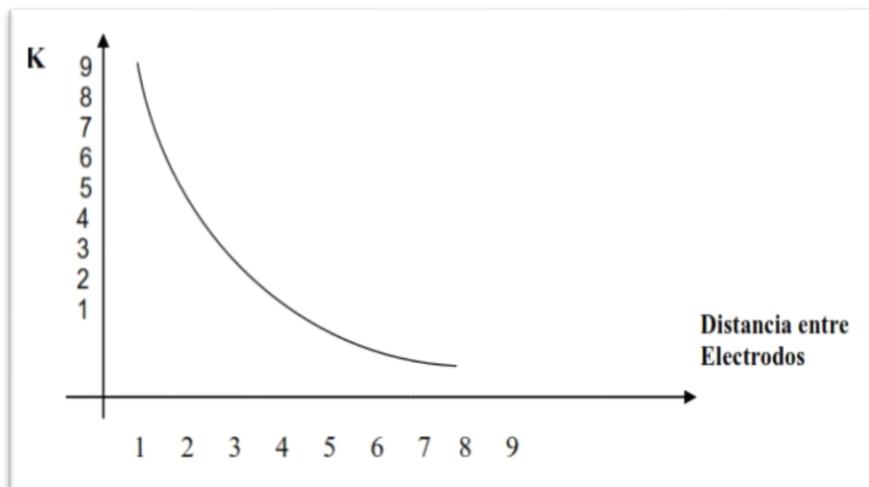


Figura 14. Valores de k para obtener la rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

El fenómeno de perforación eléctrica, es decir la conversión de la elevada resistividad, característica de los materiales aislantes, en una perfecta conductividad, se supone que se debe a que el aceite se calienta entre los electrodos, formándose burbujas de gas por la que permite el paso de la corriente a través del gas

La rigidez dieléctrica del aceite aislante mineral aumenta con la temperatura, hasta los 60 grados porque hasta dicha temperatura baja la viscosidad. A partir de los 60 grados aproximadamente la viscosidad permanece constante mientras que la rigidez dieléctrica comienza aumentar de valor. El máximo valor de la rigidez dieléctrica se obtiene aproximadamente entre los ochenta y noventa grados. Otras experiencias afirman que el máximo de rigidez dieléctrica se obtiene aproximadamente a los sesenta grados, y la mínima rigidez dieléctrica se obtiene entre los menos veinte y el cero grado.

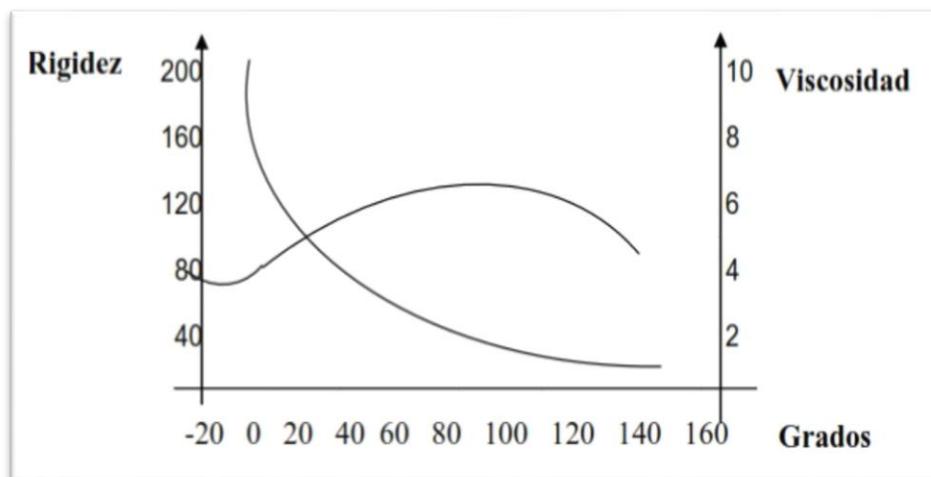


Figura 15. Temperatura vs rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

La rigidez dieléctrica varía con el contenido de agua del aceite. Al llegar a los veinte kilo volts por cm. La rigidez se estabiliza a un valor prácticamente constante, debido a que con una proporción de agua tan elevada, las gotitas se reúnen formando gotas de mayor volumen, que se depositan en el fondo del recipiente.

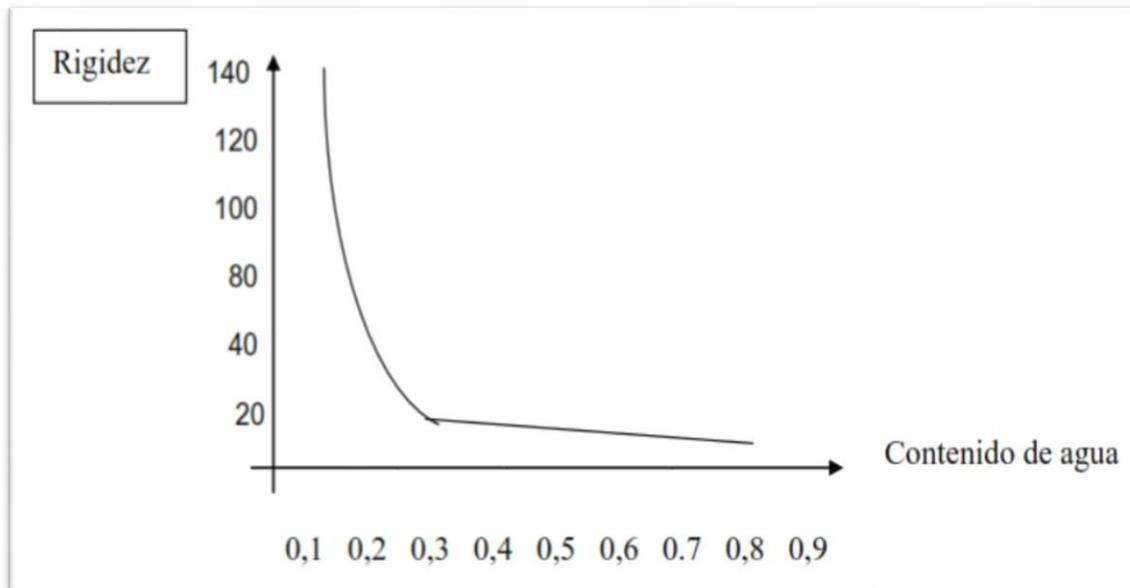


Figura 16. Contenido de agua vs rigidez dieléctrica (IRAM 2026).

7.3.2. Índice de neutralización (Acidez).

El índice de neutralización de un aceite es una medida de los componentes o agentes contaminantes ácidos en el aceite. En un aceite nuevo el valor del índice de neutralización es pequeño, pero aumenta entre otras razones como resultado del envejecimiento por oxidación.

Mediante este ensayo se mide la acidez orgánica y se aporta parte de la información sobre el estado químico del aceite, permitiendo estimar la posibilidad de aparición de lodos en el interior del transformador. Los productos ácidos generados durante los procesos de oxidación del aceite, provocan el deterioro de la aislación sólida del equipo, por lo tanto es esencial detectar a tiempo la aparición de acidez orgánica y controlar su variación en el tiempo.

El índice de neutralización se define como los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos libres contenidos en un gramo de aceite.

El método consiste en disolver la muestra en un solvente compuesto de alcohol benceno e indicador y valorar con solución alcohólica 0.1Normal de hidróxido de

potasio hasta que se produzca el viraje del color azul a rojo. (Un buen aislante tiene un grado de acidez no superior a 0,05 KOH mg/g)

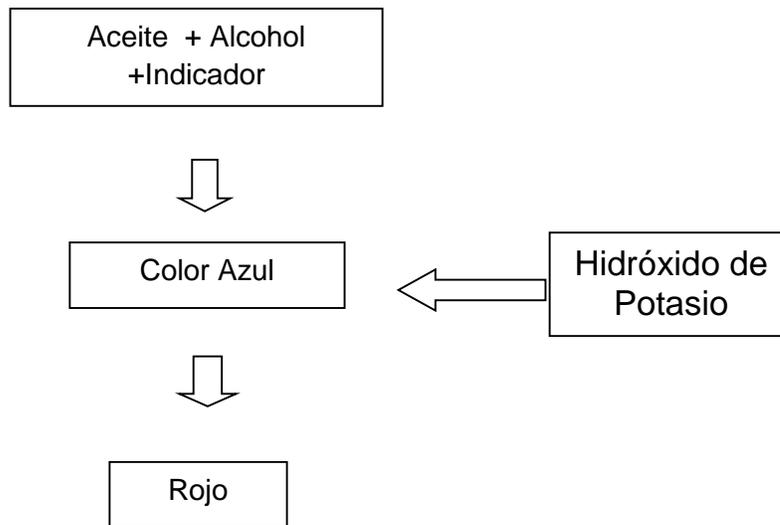


Figura 17. Diagrama de flujo para determinación de acidez (IRAM 2026).

7.3.3. Tensión superficial

Permite detectar los agentes contaminantes polares solubles en el aceite, lo que produce el inicio del envejecimiento del aceite y es un ensayo muy sensible.

El valor de la tensión superficial varía rápidamente durante la primera etapa de envejecimiento pero luego la tasa de variación decrece a medida que los valores absolutos disminuyen. Por esta razón los resultados son difíciles de interpretar especialmente cuando el aceite está regularmente contaminado.

La superficie de un líquido tiene la tendencia natural a contraerse hasta un valor mínimo. Por esta razón se le atribuye una tensión superficial, que es la causa de la formación de gotas y del fenómeno de capilaridad.

Las sustancias en disolución en aceite modifican la tensión superficial disminuyendo su valor. La tensión superficial de un aceite aislante se determina con relación a la del agua

Se toma la muestra de aceite y se la introduce con agua en un recipiente. Se coloca en la interfase agua-aceite un anillo plano de alambre de platino y se mide la fuerza necesaria para quitarlo, levantándolo desde la interfase agua-aceite. La fuerza así medida se corrige aplicando un factor empírico que depende de ésta, de las densidades del aceite y del agua, y de las dimensiones del anillo.

Las mediciones se realizan bajo rigurosas condiciones normalizadas y se completan durante el primer minuto de la formación de la interfase aceite-agua.

7.3.4. Contenido de Agua.

El agua en el aceite de un transformador puede provenir del aire atmosférico o bien de resultar de la degradación de los materiales aislantes. Para contenidos de agua relativamente bajos, el agua permanece en solución y no modifica el aspecto del aceite. Por lo tanto el agua disuelta se debe detectar por medio de métodos químicos. El agua disuelta afecta las propiedades dieléctricas, y la solubilidad del agua en el aceite aumenta en función de la temperatura y del índice de neutralización.

Cuando el contenido de agua supera un cierto nivel, que llega a la saturación, el agua no puede permanecer en solución y aparece el agua libre en forma de turbiedad o de gotitas, invariablemente el agua libre provoca una disminución de la rigidez dieléctrica y de la resistividad y un aumento del factor de disipación.

En un transformador, la cantidad total de agua se reparte entre el papel y el aceite en una relación predominante del papel. Pequeñas variaciones de temperatura modifican sensiblemente el contenido de agua del aceite pero levemente la del papel.

Conociendo el contenido de aceite en el aceite a una determinada temperatura, por medios gráficos disponibles es posible determinar la cantidad de agua retenida en el papel en condiciones de equilibrio.

Un alto contenido de agua en el aceite aparte de afectar las propiedades del aceite, acelera la degradación química del papel y hace necesaria la aplicación de medidas correctivas.

Su determinación adquiere gran importancia sobre todo en equipos de AT nominal debido a su gran influencia sobre la rigidez dieléctrica. El ensayo permite determinar la cantidad de agua solubilizada y no solubilizada en el aceite, a diferencia de la rigidez dieléctrica que solamente detecta la presencia de agua no solubilizada en el aceite. La capacidad de disolución de agua del aceite aumenta a medida que envejece; el conocimiento de la cantidad disuelta permite prever el punto de saturación, momento en el cual comenzará a disminuir la capacidad dieléctrica.

El equilibrio que existe entre la humedad contenida en el aceite y en la aislación sólida, está muy influenciado por la temperatura, por lo tanto, la muestra para una determinación de contenido de agua debe ser tomada mientras el transformador se encuentra a temperatura de servicio.

Se la hace reaccionar Iodo y SO_2 , que en presencia de agua libera SO_3 y ácido lodhídrico. Estos a su vez reaccionan con piridina y alcohol metílico. Midiendo la cantidad de SO_3 se puede determinar el contenido de agua. Es muy sensible y se requieren cuidados especiales para evitar resultados erróneos por incorporación de vestigios de humedad provenientes de la atmósfera del laboratorio.

7.3.5. Punto de inflamación

Un punto de inflamación bajo indica la presencia de sustancias volátiles combustibles en el aceite. La exposición prolongada de un aceite en condiciones de falla, puede producir suficientes cantidades de hidrocarburos de baja masa molecular como para causar la disminución del punto de inflamación del aceite.

Durante la degradación del aceite se forman hidrocarburos livianos cuya presencia en cantidades apreciable, la cual puede detectarse mediante la medición del punto de inflamación, puede ser una indicación de falla incipiente en el equipo.

El punto de inflamación es la temperatura mínima a la cual en condiciones normalizadas los vapores producidos en la superficie del líquido se inflaman al aproximarse una llama, sin que prosiga la combustión cuando se retira la llama.

Para determinarlo se calienta una muestra en forma gradual y lentamente mientras se agita en forma continua. A intervalos regulares de tiempo se deja de agitar y se dirige una llama hacia la superficie del recipiente que contiene la muestra, tomándose como punto de inflamación la menor temperatura a la cual la llama provoca la ignición de los vapores sobrenadantes.

7.3.6. Medición del pH.

HI98130 es un medidor de prueba de agua que ofrece mediciones de pH de alta precisión, CE, TDS y temperatura en un solo probador! No más de conmutación entre los contadores para sus mediciones de rutina. Lecturas de pH y CE / TDS son automáticamente con compensación de temperatura. Rápido, eficaz, preciso y portátil, el pH Combo, CE / TDS y temperatura probador combina todas las características que los usuarios han solicitado y mucho más!



Figura 18. Medidor Combo HANNA HI98129 Waterproof

7.4. Determinación de la viscosidad y densidad.

El viscosímetro SVM 3000 mide la viscosidad dinámica y la densidad de aceites y combustibles según la norma ASTM D7042. Con esos datos, el viscosímetro calcula automáticamente la viscosidad cinemática y suministra resultados absolutamente reproducibles según las normas ISO 3104 o ASTM D445. Mediante el principio de medición Stabinger con el termostato Peltier, es posible medir con un único sistema de medición un rango incomparablemente amplio de viscosidad y de temperatura. Compacto y de bajo consumo de energía, versátil, rápido, con bajo consumo de muestras y de disolventes — el SVM 3000 es sin duda el viscosímetro cinemático más eficiente.



Figura 19. Viscosímetro SVM 3000.

CAPITULO VIII

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Análisis de los adsorbentes por separado.

8.1.2. Determinación de viscosidad y densidad.

Al analizar los 7 adsorbentes por separado en las columnas preliminares se obtuvieron estos resultados.

Tabla 5. Determinación de viscosidad y densidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

ADSORVENTES	DENSIDAD	VISCOSIDAD	DINAMICA	VISCOSIDAD
	(g/cm ³)	(mPa.S)		CINEMATICA (mm ² /S)
Grava	0.908	35.691		39.309
Arena	0.9079	35.807		39.439
Arcilla	0.9077	35.528		39.139
Resina	0.9079	35.512		39.116
Zeolita	0.908	35.669		39.283
Carbón	0.9063	34.017		37.534
Huevo	0.9079	35.713		39.334
Aceite sin filtrar	0.908	35.643		39.254

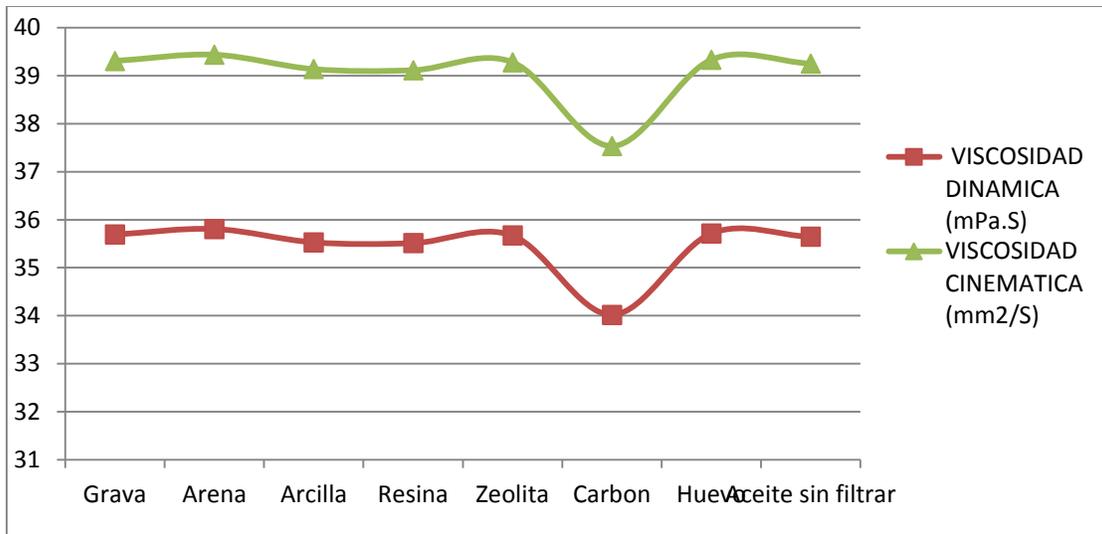


Figura 20. Determinación de viscosidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

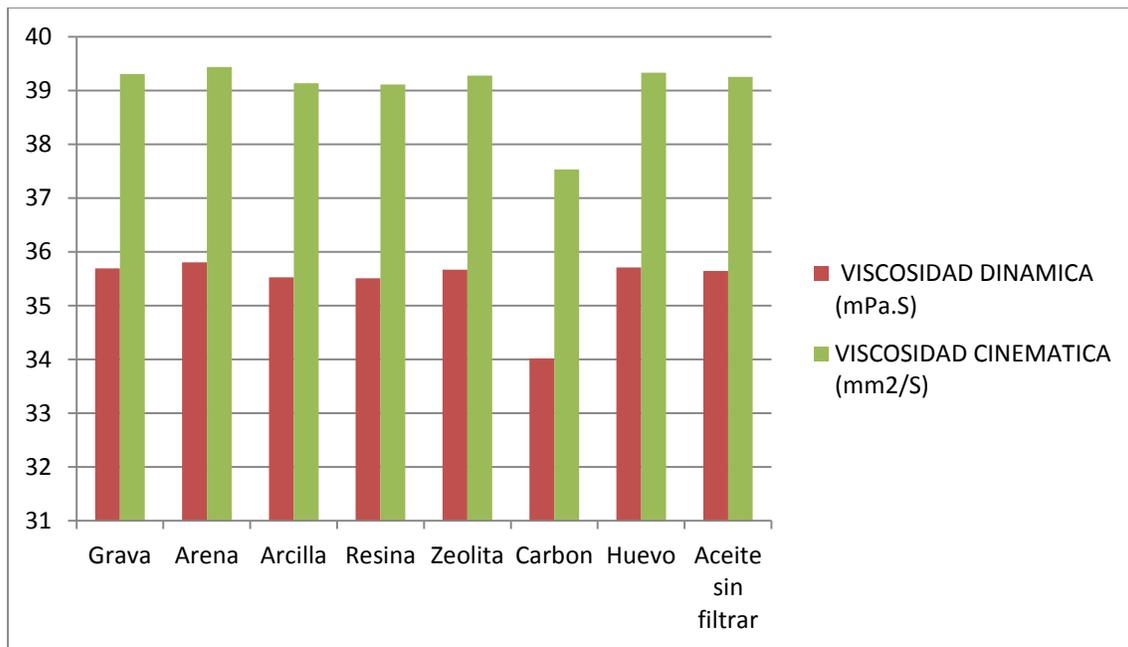


Figura 21. Determinación de viscosidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

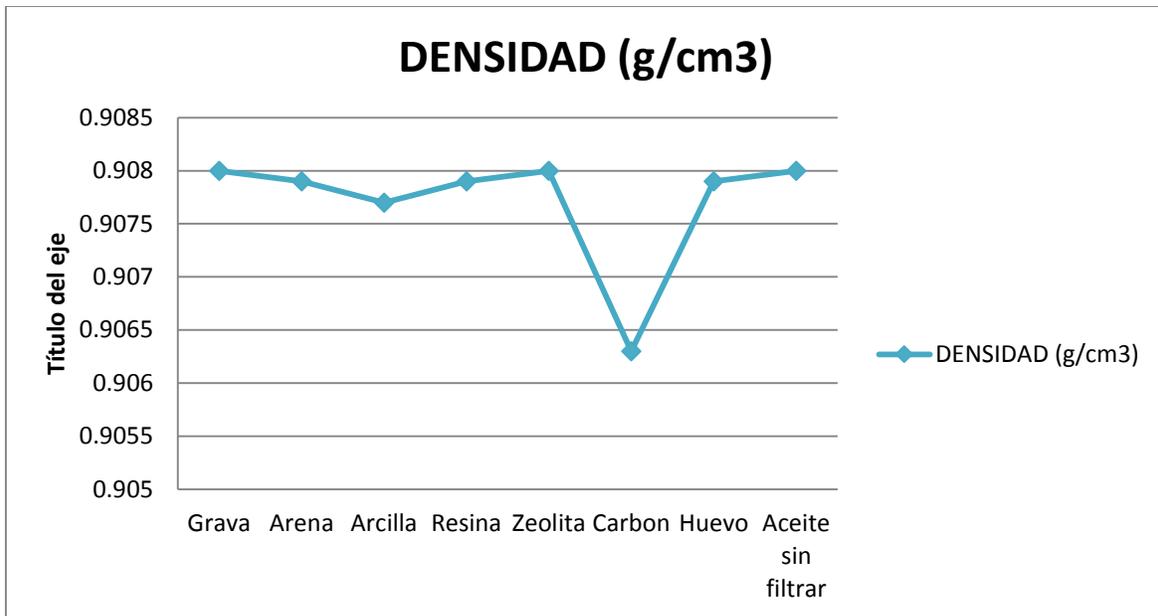


Figura 22. Determinación de la densidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

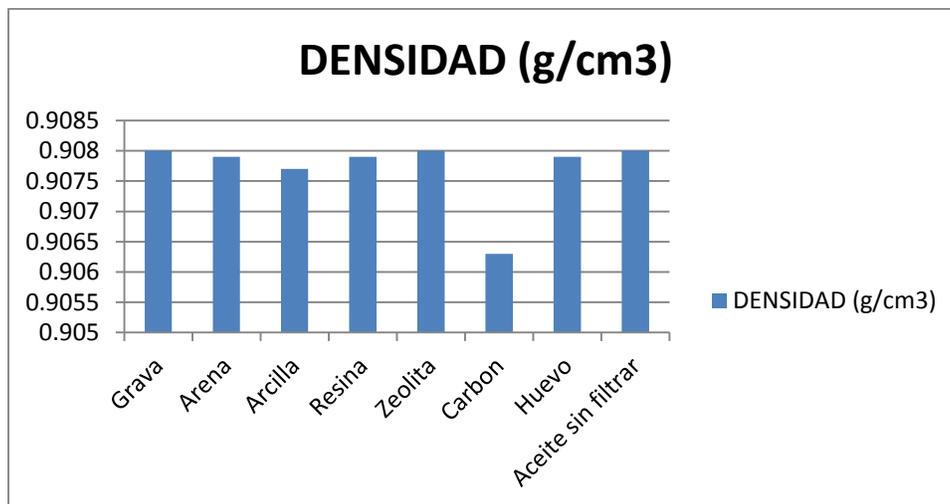


Figura 23. Determinación de la densidad del aceite filtrado por los diferentes adsorbentes a 40°C.

8.1.3 Determinación de acidez titulable de los filtrados de aceite residual en los diferentes adsorbentes.

Tabla 6. Acidez titulable del aceite filtrado con cada adsorbente por separado.

ADSORVENTE	ACIDEZ
GRAVA	1.0898
ARCILLA	1.1936
ARENA	1.1936
CARBON	0.8952
HUEVO	0.6962
RECINA	0.6962
ZEOLITA	0.5968

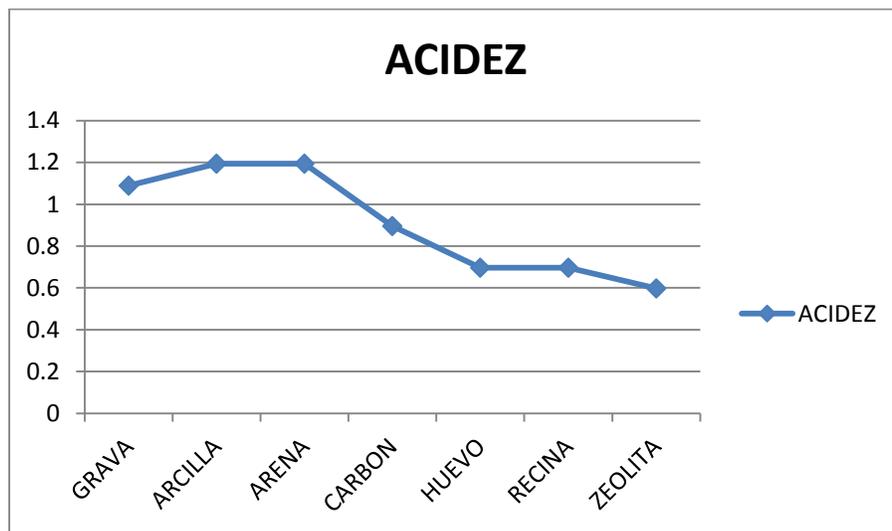


Figura 24. Acidez titulable del aceite filtrado con cada adsorbente por separado.

Después de analizar estos resultados obtenidos de las determinaciones se seleccionaron solamente 5 de los 7 adsorbentes quedando solamente:

1. Resina.
2. Carbón activado.
3. Zeolita.

4. Arena.

5. Arcilla.

Con estos 5 adsorbentes se empacaron las nuevas columnas hechas con botellas de plástico de 600mL, esto se hizo para poder filtrar de manera más rápida y poder obtener volúmenes mayores para los análisis requeridos.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES

El aprovechamiento de las grasas y aceites residuales puede ser posible, si estos desechos son tratados y purificados después de haber sido usados en la preparación de los alimentos, de tal manera que recuperen sus características originales a cuando estos aún estaban limpios, o no habían sido utilizados.

La filtración a través de las columnas empacadas con los adsorbentes seleccionados, es un método innovador y muy convincente para limpiar los aceites residuales, pero sobre todo son de bajo costo. Lo cual hace muy factible que se realice el proyecto, según los resultados obtenidos, ya que estos pueden ser usados como sustitutos de los aceites provenientes de hidrocarburos que se usan actualmente en los transformadores eléctricos.

Según los resultados obtenidos de los análisis realizados a los filtrados de cada columna empacada, puede decirse, que estos residuos son potencialmente factibles para usarse como sustitutos de aislantes dieléctricos en los transformadores eléctricos, por su bajo costo de obtención, la fácil disposición de la materia prima y el impacto ambiental que este generaría al llevarse a cabo a gran escala.

RECOMENDACIONES

Se recomienda diseñar una columna empacada que permita utilizar mayores cantidades de adsorbentes, así como también utilizar una bomba de vacío para que el proceso de filtración no sea tan prolongado y poder hacer los análisis de una forma más rápida.

También se recomienda trabajar en un lugar donde se cuenten con todos los equipos necesarios y materiales adecuados para obtener resultados más confiables y precisos.

CAPITULO X

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Química orgánica. Lípidos. John McMurry. 7ª edición.**
- **Centro de estudio de ingeniería química, Colombia tanqueara con biodiesel Posted on Tuesday,11.**
- **AGUDELO, J. R., BENJUMEA, P. Biodiesel de aceite crudo de palma colombiano: Aspectos de su obtención y utilización. Universidad de Antioquia. 2004.**
- **BENAVIDES, A. Y. Biodiesel de aceite de higuera. Una evaluación de su obtención y utilización. Trabajo dirigido de grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2004.**
- **CORTES, J. Producción de biodiesel a partir de subproductos de la industria avícola. Megaproyecto para el futuro. 1er Seminario Internacional de Biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. 2004**
- **CRESPO, VICENTE; MARTÍNEZ, M Y ARACIL, J. Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral. En: Ingeniería Química. Madrid (Mar. 2001); p. 135-145.**
- **PROBST, Oliver. El biodiesel como alternativa limpia y renovable para el transporte. En: Revista transferencia. Año 14, No 56 (octubre 2001); p. 22-2**
- **C.W. Yu, S. Bari and A. Ameen, A comparison of combustion characteristics of waste cooking oil with diesel as fuel in a direct injection diesel engine, Proc Inst Mech Eng Part D: J Autom Eng 216 (2002), pp. 237–243**

CAPITULO XI

ANEXOS

Fotografías del trabajo en general.

