

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

RECICLAJE PARA LA FORMULACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNO LÍQUIDO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Para obtener el título de:

Ingeniera Ambiental

Con la especialidad

Sustentabilidad y Tecnologías del Agua

Presenta:

CARRILLO VÁZQUEZ EDZNA MARIANNE NIKTE

201720829

Asesor (a) del proyecto:

Ing. Pilar Concepción Jasso Jiménez

Coacalco, Estado de México

Enero 2024

RESUMEN

El aceite usado es un residuo que puede ser transformado en un combustible alternativo mediante procesos de reciclaje. El reciclaje de aceite usado tiene varios beneficios, como la reducción de residuos y la generación de un combustible que puede ser utilizado en motores diésel.

El proceso de reciclaje del aceite usado puede realizarse mediante métodos físicos y químicos, como la crepitación, la destilación. Cada método tiene sus ventajas y desventajas, su elección dependerá del tipo y la calidad del aceite usado y de los requerimientos del combustible alternativo que se desea producir.

Además, para asegurar la calidad del combustible alternativo producido a partir de aceite usado, es necesario realizar pruebas de análisis y caracterización, como la espectrometría infrarroja y la determinación de la viscosidad y la densidad. También es importante seguir las normas y regulaciones aplicables para garantizar la seguridad y la calidad del combustible producido.

En resumen, el reciclaje de aceite usado para crear combustible alternativo es una alternativa sostenible que puede contribuir a la reducción de residuos y a la generación de combustibles más limpios y eficientes.

ÍNDICE

CAPITULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

Introducción.....	6
Justificación.....	8
Problemática a resolver	9
Antecedentes.....	10
Objetivos.....	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Alcances y limitaciones	12
Impactos esperados	13

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

¿Qué son los aceites?	15
Orígenes del aceite	16
Clasificación de los aceites	18
Propiedades físicas del aceite	20
Viscosidad	20
Punto de escurrimiento	20
Punto de Floculación	21
Punto de Inflamabilidad.....	21
Punto de Ignición.....	21
Resistencia de Películas	21
Densidad	22
Color	22
Olor	22
Propiedades químicas del aceite	23
Número de Neutralización	23
Oxidación.....	23
Emulsión	23

Tensión Interfacial	24
Corrosión al Cobre	24
Detergencia y Dispersencia.....	24
Punto de Anilina	25
Humedad.....	25
Métodos para determinar el porcentaje de humedad en aceites	26
Método de crepitación	27
Método de Karl Fischer	28
Método de espectrometría infrarroja transformadas de Fourier (FTIR).....	30
Método de Dean Stark	32
Normatividad	34
NOM-052-SEMARNAT-2005	35

CAPITULO III DESARROLLO

Elección del método Dean Stark	39
Procedimiento para el reciclaje de aceite	40
Análisis	40
Filtrado.....	41
Sedimentado	41
Centrifugado	42
Análisis y pruebas de calidad	43
Almacenamiento y distribución	43

CAPÍTULO IV RESULTADOS

CONCLUSIONES.....

COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....

FUENTES DE INFORMACIÓN.....

ANEXOS.....

CAPITULO I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema del reciclaje de los aceites que provienen de los motores o maquinaria industrial, una vez que son utilizados se convierten en uno de los residuos con mayor capacidad contaminante que requiere una gestión responsable; éstos pueden causar daños al medioambiente cuando se vierten en el suelo o en las corrientes de agua incluyendo alcantarillas. El aceite lubricante usado contiene diversos compuestos químicos tales como metales pesados, (por ejemplo, cromo, cadmio, arsénico, plomo, entre otros), hidrocarburos aromáticos polinucleares, benceno y algunas veces solventes clorados. Estos compuestos químicos producen un efecto directo sobre la salud humana y varios de estos productos son cancerígenos

La quema incontrolada de aceites usados puede dar lugar a niveles significativos de emisiones peligrosos al medio ambiente. Esto puede exponer a los seres humanos, la vida silvestre y la vegetación a sustancias nocivas.

Además de sus propiedades peligrosas para la salud y el medio ambiente, el aceite usado se genera de forma muy dispersa en el territorio y en actividades empresariales, desde talleres de vehículos e instalaciones industriales, hasta cooperativas agrarias, parques eólicos, campos de golf, autoescuelas, recintos militares y más, lo que implica un servicio de recogida de gran complejidad logística que requiere de una gestión precisa y costosa.

Disponer el aceite lubricante usado y materiales contaminados en los rellenos sanitarios o en los tiraderos a cielo abierto, no es una solución adecuada. Indudablemente, el aceite se convierte en parte del lixiviado y termina en las aguas subterráneas, haciendo que ésta no sea apta para el consumo humano. La contaminación del agua superficial o del suelo no solamente es perjudicial para el hombre, sino para todas las demás formas de vida, puesto que la presencia del aceite altera los procesos de intercambio en los ecosistemas. El aceite lubricante usado que se quema bajo condiciones no controladas puede emitir más plomo al aire que cualquier otra fuente industrial, según estudios desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental.

Los aceites usados poseen aún grandes cantidades de energía interna que puede ser aprovechada en algunos casos por las grandes cementeras que los emplean como aceites combustibles, en otros casos, se recicla la base lubricante eliminando sedimentos, partículas y agua con el objeto de re-procesarlos para generar un nuevo lubricante. Algunos autores proponen técnicas de recuperación y de refinado de aceites usados, el reciclado químico de plásticos y aceites lubricantes usados mediante catalizadores zeolíticos.

El reciclaje de aceite usado es una práctica que ha evolucionado durante décadas y se ha convertido en una solución importante para la gestión sostenible de residuos y la producción de energía. Los avances tecnológicos y el creciente interés en la economía circular han impulsado su desarrollo y uso en todo el mundo.

JUSTIFICACIÓN

Escogí el tema del reciclaje de aceite usado porque considero que es una práctica importante y necesaria debido a los problemas ambientales y de salud que pueden ser causados por su disposición inadecuada. El aceite usado puede obstruir tuberías, causar daños al ambiente como la contaminación de suelos, ríos y mares, y liberar sustancias tóxicas al ambiente.

Por otro lado, el reciclaje de aceite usado tiene múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos. Al reciclar el aceite usado se reduce la cantidad de residuos generados, disminuyendo el impacto ambiental. También se evita la necesidad de extraer y procesar nuevas materias primas para la producción de combustibles, lo que reduce el impacto ambiental asociado con la extracción y el transporte.

El reciclaje de aceite usado también puede generar y promover la economía circular, ya que puede ser utilizado como materia prima para la producción de combustibles y otros productos. Además, los combustibles producidos a partir de aceite usado pueden ser más limpios y eficientes que los combustibles tradicionales, lo que puede contribuir a la reducción de emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire.

Actualmente, el aceite usado se procesa a nivel industrial y doméstico y se utiliza como materia prima para la producción de combustibles, lubricantes, aditivos y otros productos. También se han desarrollado iniciativas y programas de reciclaje a nivel gubernamental y privado para promover y facilitar su uso y desarrollo.

En conclusión, el reciclaje de aceite usado es una práctica necesaria y beneficiosa para el medio ambiente, la economía y la sociedad en general. Es importante fomentar y promover su uso y desarrollo para poder enfrentar los retos actuales en materia de residuos y energía de manera sostenible.

PROBLEMÁTICA A RESOLVER

Está demostrado que el aceite es uno de los residuos más contaminantes que existen en el planeta ya que pueden derivarse graves daños medioambientales si su gestión es inadecuada. Su eliminación por incineración incontrolada o vertido provoca graves problemas de contaminación en el aire, el agua y el suelo.

El aceite usado es peligroso debido a su toxicidad, su baja biodegradabilidad, la emisión de gases peligrosos y su degradación química.

En el agua produce una película impermeable que puede asfixiar a los seres vivos que allí habitan. Un litro de aceite contamina un millón de litros de agua y dos litros el agua que aproximadamente contiene una piscina olímpica. En el mar, un compuesto hidrocarbonado como el aceite usado puede perdurar de 10 años o más.

En el aire, si el aceite usado se quema origina importantes problemas de contaminación y emite gases muy tóxicos, debido a la presencia de aceite. Cinco litros de aceite quemados en una estufa contaminarían 1.000.000 m³ de aire, que es la cantidad de aire respirada por una persona durante tres años.

En la tierra, el vertido del aceite usado puede perjudicar tanto el suelo como las aguas superficiales y subterráneas, afectando gravemente a la fertilidad del suelo, al alterar su actividad biológica y química. Tan sólo un litro de aceite usado puede contaminar una superficie similar a la de un campo de fútbol.

Esta contaminación se puede evitar con el reciclaje, una práctica ecológica que tiene muchas posibilidades y beneficios. Por cada litro de este residuo se puede lograr un litro de un biocombustible para motores diésel. La ventaja es doble, se evita su impacto en la naturaleza y se crea alternativas para reducir el uso de los combustibles fósiles convencionales.

ANTECEDENTES

El uso del petróleo ha sido una práctica en todo el mundo durante décadas. Los primeros registros de reciclaje de aceite usado fueron en la década de 1940 en Europa.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la escasez de combustible y otros recursos alentó a los gobiernos y las empresas a encontrar formas de reutilizar y reciclar materiales, incluido el aceite usado. En aquel entonces, el aceite usado se recolectaba y reutilizaba como combustible en las calderas y motores de barcos, trenes y otros vehículos.

En Estados Unidos, el uso del petróleo comenzó en la década de 1970 como respuesta a la crisis energética de la época. Desde entonces, la explotación del petróleo se ha convertido en una práctica común en muchos países y se han desarrollado tecnologías y procesos más avanzados para su recolección, tratamiento y uso.

El petróleo es una fuente de energía y recurso natural no renovable, es el recurso energético de mayor importancia en el mundo, alrededor de un 40% de la energía consumida se deriva del petróleo. De agotarse puede generarse una catástrofe porque muchos sectores de la economía alcanzarían niveles críticos, principalmente aquellos que se relacionan con los medios masivos de transporte y todos los productos derivados, como los plásticos y las fibras sintéticas entre otros (*López, y otros, 2002*).

Un contexto legal exigente, con normativas medioambientales cada vez más estrictas y el lento pero inexorable agotamiento de las reservas de petróleo, impulsan a la industria a optar por energías alternativas a los combustibles fósiles convencionales, para un planeta cuyo imparable consumo de energía no puede traducirse en un aumento de la contaminación y del deterioro medioambiental (*Zuluaga, y otros, 2003*).

OBJETIVOS

Objetivo general

La presente tesis tiene como objetivo diseñar y evaluar un proceso de reciclaje de aceites usados ocupados en las industrias para la producción de combustible alternativo y sustituir el combustible fósil, así como, la reducción de emisiones contaminantes al ambiente.

Objetivos específicos

1. Analizar las características del aceite usado para conocer si es apto para ser combustible alternativo
2. Conocer y aplicar las normativas en todos los campos que conlleve el tratamiento de reciclaje de aceites
3. Realizar la gestión adecuada para el proceso de tratamiento de reciclaje

ALCANCES Y LIMITACIONES

Se desarrollará el presente proyecto mediante investigación en libros, artículos científicos y estudios previamente desarrollados. Con los siguientes alcances y limitaciones.

Alcances:

- La evaluación de diferentes tipos de aceites usados para determinar su potencial como materia prima para la producción de combustible alternativo.
- La caracterización físico-química de los aceites usados y del combustible alternativo producido, utilizando técnicas como espectroscopía infrarroja, análisis de viscosidad, entre otras.
- La formulación de una metodología para la producción de combustible alternativo a partir de aceites usados.

Limitaciones:

- La disponibilidad y acceso a diferentes tipos de aceites usados para la producción de combustible alternativo, lo que podría limitar la cantidad de materiales a evaluar.
- El acceso a equipos y materiales específicos para la producción y evaluación del combustible alternativo, lo que podría limitar la capacidad del proyecto para llevar a cabo ciertas pruebas.
- Los recursos para realizar análisis de laboratorio y evaluar el antes y después de los aceites usados.

IMPACTOS ESPERADOS Y VIABILIDAD

Si se logra reciclar en su mayoría el aceite que se utiliza día a día, se lograría disminuir emisiones de CO₂ causadas por la quema de combustibles fósiles, por cada tonelada reciclada se ahorraría la emisión de tres toneladas de dióxido de carbono.

Así mismo, evitar que el aceite usado llegue a los cuerpos de agua por el arrojamiento a drenajes y así al depurar de las aguas residuales no precisará de tanto esfuerzo y el consiguiente incremento del coste económico.

Si se logra disminuir la contaminación del aire y del agua se lograría un beneficio para los seres vivos y prolongación de los recursos naturales.

Poder disminuir la extracción de los recursos naturales, el reciclaje permitiría no sustraer nueva materia prima para fabricación de lubricantes y lograr un ahorro en materias primas y energía.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

¿Qué son los aceites?

Un aceite o lubricante se definen como una sustancia líquida que se utiliza para reducir la fricción entre dos superficies en movimiento, con el fin de minimizar el desgaste y prolongar la vida útil de las máquinas y equipos.

Los aceites industriales son aquellos aceites que se utilizan en diversas industrias, como la alimentaria, la textil, la automotriz, la química, entre otras. Estos aceites están diseñados para cumplir con requisitos específicos de cada industria, como la resistencia a altas temperaturas, la estabilidad química, la capacidad de lubricación, entre otros.

Los aceites industriales pueden ser sintéticos o derivados del petróleo, y se utilizan para una variedad de propósitos, incluyendo la lubricación de maquinaria, la transferencia de calor, la protección de superficies y la mejora de la calidad de los productos finales. Y su uso es necesario para que el funcionamiento de estos aparatos sea el adecuado.

Un lubricante es una mezcla de dos componentes: aceites de base y aditivos. Aproximadamente, contienen un 70%-90% de aceites de base y lo demás de aditivos que mejoran la estabilidad y añaden propiedades de rendimiento.

Los orígenes de los aceites

La grasa de origen animal y el aceite vegetal se empezó a utilizar como lubricante desde hace miles de años, los usos más antiguos se remontan a unos 4000 años antes de nuestra era. La capacidad de lubricación de los aceites animales y vegetales es mayor que la de los aceites minerales que se utilizan en la actualidad, pero tienen el grave inconveniente de su poca estabilidad, se oxidan y se descomponen con facilidad produciendo sustancias ácidas que atacan a las superficies metálicas.

Durante el siglo XX y con el desarrollo de los motores de vapor, motores de combustión interna, vehículos motorizados, las máquinas industriales, agrícolas y frigoríficas, hubo una mayor necesidad de grasas y una creciente necesidad de aceites.

Por lo dicho, en la lubricación actual se emplean, de preferencia, los aceites minerales. En el proceso de refinación del petróleo crudo se obtienen a diferentes temperaturas los siguientes compuestos: gasolina, diésel, querosene, residuos, aceites, etc. En el caso de aceites se agregan diversos compuestos químicos, de acuerdo con las características y el uso que se desea dar al lubricante.

La lubricación es básica y necesaria para la operación de casi todas las maquinarias que se emplean en el mundo. Sin lubricación, las máquinas no funcionarían, o si lo hacen sería por poco tiempo antes de dañarse.

La industria de lubricantes constantemente mejora y cambia sus productos a medida que los requerimientos de las maquinarias modernas evolucionan y nuevos procesos químicos y de destilación son descubiertos.

Los aceites industriales usados se definen como los que durante su uso perdieron sus principales características, volviéndose inapropiados para continuar su utilización con el mismo propósito.

Estos lubricantes se degradan originando sustancias tóxicas y metales pesados que se producen por la exposición a altas temperaturas y presión dentro de los motores, máquinas y procesos donde se utilizan.

Comprenden a los aceites lubricantes de los motores, de fluidos hidráulicos y de transmisión, aceites de corte, de transferencia de calor y los aceites dieléctricos provenientes de transformadores y condensadores.

Quedan excluidos los aceites dieléctricos que contienen más de 50 ppm de PCB (bifenoles policlorados), que deben gestionarse de forma separada.

Los aceites procedentes de la automoción tienen más cantidad de plomo y de zinc, los de procedencia industrial tienen más cadmio, cromo y PCB's

Los aceites lubricantes usados adquieren concentraciones elevadas de metales pesados como plomo, cadmio, cromo, arsénico y zinc. El origen de estos metales es principalmente el desgaste del motor o maquinaria que lubricó, otra fuente de metales es debida al contacto con el combustible, como es el caso de la presencia de plomo proveniente de la degradación del tetraetilo de plomo de las naftas.

Se encuentran solventes clorados tales como tricloroetano, tricloroetileno y percloroetileno, provenientes del proceso de refinación del petróleo y de la reacción del aceite con compuestos halogenados de los aditivos.

La descomposición de los aceites de motor se debe especialmente a una reacción de oxidación. En todos los casos, como consecuencia de su utilización se degrada, perdiendo las propiedades que los hacen operativos y haciendo necesaria su sustitución, generándose un residuo variable en cantidad y composición.

Clasificación

Siendo un componente con una proporción del 70%-90%, el aceite de base es la fundación de un lubricante. Los aceites de base determinan la viscosidad o espesor de un lubricante, lo cual es una característica muy importante. El lubricante tiene que ser poco viscoso para poder fluir en el motor, pero a la vez, debe ser suficientemente denso para asegurar una protección de las distintas partes metálicas del motor.

Actualmente existen tres variedades de aceites, el más común es el mineral (que proviene del petróleo), luego sigue el sintético (que se desarrolla en laboratorios) y el semi sintético (con base mineral y aditivos sintéticos).

- **Aceites Minerales:** Los aceites minerales proceden del petróleo y son elaborados del mismo después de múltiples procesos en sus plantas de producción, en las refinerías. El petróleo bruto tiene diferentes componentes que lo hace indicado para distintos tipos de producto final, siendo el más adecuado para obtener aceites.
- **Aceites Sintéticos:** Los aceites sintéticos no tienen su origen directo del petróleo, sino que son creados de sub-productos petrolíferos combinados en procesos de laboratorio. Al ser más largo y complejo su elaboración, resultan más caros que los aceites minerales.
- **Aceites Semi-sintéticos:** Los aceites semi-sintéticos está compuesto por una base mineral, con un 30 por ciento o menos de aceite sintético por lo que esto haría que su precio sea menor a los 100% sintéticos

Los aceites industriales se pueden clasificar en 4 categorías: el aceite hidráulico, el aceite agrícola, el aceite dieléctrico y las grasas.

- **Aceites hidráulicos:** Los aceites hidráulicos son lubricantes elaborados a base de mineral y una serie de aditivos convirtiéndolo en el aceite apropiado según las condiciones y lo que se va a desempeñar, como, por ejemplo, en sistemas hidráulicos y maquinaria pesada que requieren este tipo de lubricantes en sus sistemas.

- Aceites agrícolas: También conocido como gasoil agrícola, se utiliza en maquinaria agrícola e industrial, tal y como su propio nombre indica. También se usa para embarcaciones, vehículos autorizados, calefacciones domésticas y motores fijos.
- Aceite dieléctrico: Es un tipo de aceite que se utiliza en los condensadores eléctricos para evitar que las placas metálicas se toquen entre sí. La función del aceite dieléctrico es aislar las cargas eléctricas dentro del capacitor y crear un campo eléctrico entre las dos placas de metal.
- Grasas: Las grasas lubricantes se han utilizado tradicionalmente para mantener lubricados vehículos, embarcaciones, máquinas y sus componentes. Sin embargo, existen diferentes tipos de grasa que producen resultados diferentes en función de sus propiedades y características.

Los aditivos de aceite de motor son compuestos químicos que mejoran el rendimiento lubricante del aceite base o "material base" de aceite. Tienen tres funciones básicas: Mejoran las propiedades del aceite base existente con antioxidantes, inhibidores de corrosión, agentes antiespumantes y agentes desemulsionantes. Existen tres tipos de aditivos:

- Aditivos anti desgaste: La finalidad de los lubricantes es evitar la fricción directa entre dos superficies que están en movimiento, y estos aditivos permanecen pegados a las superficies de las partes en movimiento, formando una película de aceite, que evita el desgaste entre ambas superficies.
- Aditivos detergentes: La función de estos aditivos es lavar las partes interiores en el motor, que se ensucian por las partículas de polvo, carbonilla, etc., que entran a las partes del equipo a lubricar.
- Aditivos dispersantes: Este tipo de aditivos pone en suspensión las partículas que el aditivo detergente lavó y las disipa en millones de partes, reduciendo su impacto para la zona a lubricar.

Propiedades Físicas del Aceite

Los aceites lubricantes están compuestos esencialmente por una base y aditivos. Las bases determinan la mayor parte de las características del aceite, como la viscosidad, su resistencia a la oxidación, y el punto de fluidez. Las bases son en sí minerales derivados del petróleo o bases sintéticas reacciones químicas provenientes de petróleo, ácidos grasos, otros siendo esta la gamma más extensa.

Viscosidad

La viscosidad se refiere a la resistencia que poseen algunos líquidos durante su fluidez y deformación bajo el efecto de la temperatura. Por lo tanto, la viscosidad es una de las principales características de los líquidos, y se determina de la siguiente manera: mientras más resistencia posee un líquido para fluir y deformarse, más viscoso es.

Por tanto, a mayor viscosidad, más resistencia opondrá el fluido a su deformación, o, lo que es lo mismo: cuanto más fuerte son las fuerzas intermoleculares de atracción, mayor es la viscosidad.

Los aceites se vuelven menos viscosos al aumentar la temperatura y más viscosos a bajas temperaturas. Esto es muy importante, ya que, si se tienen temperaturas muy bajas, el aceite se volverá demasiado viscoso, se espesará y no fluirá a través del sistema, acumulándose dentro de éste y disminuyendo la transferencia de calor.

El propósito del aceite, como ya se mencionó, es lubricar. Si el aceite es demasiado ligero (baja viscosidad), no permanecerá entre las superficies, si no que se saldrá, dejándolas sin películas protectora. Si el aceite es demasiado viscoso, causará una excesiva resistencia, pérdida de fuerza y puede no ser capaz de fluir entre las partes móviles.

Punto de Ecurrimiento

El punto de escurrimiento es la temperatura más baja a la que el aceite o el combustible se escurrirá cuando se enfríe en condiciones definidas. En general, el punto de escurrimiento indica la cantidad de cera en un aceite. A bajas temperaturas, la cera tiene a separarse. Esto

puede atrapar una cantidad sustancial de aceite, inhibir el flujo de aceite obstaculizar la lubricación.

Es la temperatura más baja a la cual fluiría un aceite. Por definición, el punto de escurrimiento es 3°C mayor que la temperatura a la cual el aceite cesará totalmente de fluir; es decir, el punto de escurrimiento es 3°C, arriba de la temperatura de congelación del aceite.

Punto de Floculación

El punto de floculación de un aceite es la temperatura a la cual las parafinas y otras sustancias disueltas en el aceite se precipitan formando flóculos al entrar en contacto con un fluido refrigerante al ser enfriado el aceite.

Esta característica es de especial importancia en los aceites que trabajan en elementos de sistemas de refrigeración, en los cuales el refrigerante es miscible con el aceite.

Punto de Inflamabilidad

Es la temperatura mínima necesaria para que un combustible desprenda vapores que, al mezclarse con el oxígeno del aire u otro oxidante capaz de arder, originan una inflamación violenta de la mezcla. Esta inflamación no suele mantenerse, por lo que se origina una llama instantánea produciéndose el fenómeno que se conoce como centelleo.

Punto de Ignición

La temperatura de ignición es la mínima temperatura a la cual una sustancia inflamable emite suficientes vapores que, en presencia de una llama, pueden inflamarse. Es la temperatura a la cual un aceite arde y continúa quemándose, cuando menos durante 5 segundos, al ser expuesto a una flama.

Resistencia de Películas

Se llama resistencia de película a la capacidad del aceite para resistir el barrido o la compresión cuando es empujado entre dos superficies móviles y reducido a una capa extremadamente fina. La capacidad del aceite para seguir formando una película continua, que se interponga entre las superficies móviles es la resistencia.

Densidad

La densidad es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos. La densidad absoluta o densidad normal, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen.

El agua, patrón de referencia, tiene una densidad de $1,000 \text{ kg / m}^3$, por definición. Los aceites varían entre 700 kg / m^3 y 950 kg / m^3 . Esta es la razón por la cual la mayoría de los aceites flotan en el agua: son menos densos que ella.

Color

Actualmente el color del aceite dice muy poco acerca de sus características, ya que es fácilmente modificable con aditivos. Sin embargo, en procesos de oxidación o envejecimiento el aceite dieléctrico e hidráulico aportan mucha información.

Por ejemplo, el aceite fresco suele ser de color claro, mientras que el aceite usado puede ser oscuro debido a la presencia de partículas y la oxidación. El aceite que tiene un color anormalmente oscuro puede indicar que ha habido una contaminación con otro líquido, como combustible o refrigerante. También puede indicar que el aceite ha sido sometido a altas temperaturas, lo que puede reducir su vida útil.

Olor

El olor del aceite puede ser una señal de la presencia de ciertas sustancias, como combustibles, refrigerantes o productos químicos, que pueden haberse mezclado con el aceite. Por ejemplo, un olor a gasolina puede indicar la presencia de combustible en el aceite, lo que podría ser un signo de una fuga en el sistema. El olor a quemado puede indicar que el aceite ha sufrido una oxidación severa o que se ha sobrecalentado.

Propiedades Químicas del Aceite

Número de Neutralización

Es la cantidad de ácido o base necesario para neutralizar una muestra de lubricante. Puede expresarse de 4 diferentes maneras:

- TAN: Número total de ácido, es la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) expresada en miligramos necesarios para neutralizar todos los ácidos de una muestra de 1 gramo de aceite.
- SAN: Número de ácido fuerte, es la cantidad de hidróxido (KOH) en mg necesaria para neutralizar los ácidos fuertes (inorgánicos) presentes en una muestra de aceite de 1 gr. Este valor corresponde al valor de la acidez mineral.

La diferencia entre el TAN y el SAN corresponde al valor de la acidez orgánica (ácidos débiles). Estos dos valores nos indican el nivel de acidez de un aceite.

- TBN: Número de base total, es la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) en mg necesaria para neutralizar los componentes alcalinos de una muestra de 1 gr. de aceite.
- SBN: Número de base fuerte, es la cantidad de KOH en mg necesaria para llevar una muestra de 1 gr. de aceite a pH 11.

Estos valores nos indican el nivel de alcalinidad de un aceite.

Oxidación

La oxidación es un proceso de degradación química que afecta a la mayor parte de los materiales orgánicos. Básicamente consiste en la asimilación de átomos de oxígeno por parte de las sustancias constituyentes del lubricante, lo que conlleva la degradación de las mismas y la pérdida paulatina de características y prestaciones del aceite. Este proceso se ve favorecido por el calor, la luz, el agua y la presencia de contaminantes.

Emulsión

Se llama emulsión a la dispersión de un líquido dentro de otro en forma de pequeñas gotas. Al líquido dispersado se le llama fase discontinua. El líquido dispersante es llamado fase continua.

Las emulsiones no suelen ser estables debido a que la tensión interfacial tiende a unir las burbujas. Para formar la emulsión es preciso un agente emulsionante y aportar energía mecánica o térmica, a fin de romper la interface.

Tensión Interfacial

Se llama tensión interfacial a la energía libre existente en la zona de contacto de dos líquidos inmiscibles. Esta energía es consecuencia de las tensiones superficiales de los dos líquidos, y evita que se emulsiones espontáneamente. El valor de la tensión interfacial del aceite es indicativo de varias características del aceite:

- La inmiscibilidad del aceite. Es cuando dos líquidos inmiscibles están en contacto, las moléculas en el interior del líquido se atraen unas a otras en todas direcciones.
- En el caso de los aceites aislantes, la tensión interfacial, es un indicativo de la capacidad aislante del aceite.
- Debido a la acumulación de contaminantes y productos de la degradación del aceite, nos da una indicación del grado de envejecimiento.
- El valor de la tensión interfacial en un aceite nuevo, comparado con otros, es un indicativo del grado de refinado.

Corrosión al Cobre

Los ensayos de corrosión al cobre tienen como fin determinar la capacidad del aceite para atacar a los metales blandos, tales como el cobre, el plomo, etc.

El aceite nuevo y bien refinado, sin aditivos, no suele ser agresivo con los metales, si bien la presencia de ciertos aditivos, los componentes ácidos que se originan en la degradación del aceite, la contaminación del aceite y las temperaturas altas pueden hacer agresivo al aceite.

Detergencia y Dispersancia

La detergencia y la dispersancia son dos características que definen la capacidad del aceite para mantener limpio el sistema.

- **Detergencia:** Se llama detergencia a la capacidad del aceite para eliminar residuos acumulados por el sistema, bien incrustados (en tuberías, pistones, etc.), bien acumulados en forma de lodos.
- **Dispersancia:** La dispersancia es la capacidad del aceite para mantener dispersos los residuos a lo largo del circuito, evitando que se acumulen.

Punto de Anilina

También llamado "temperatura crítica de disolución", el punto de anilina es la temperatura en °C a la que dos volúmenes iguales de aceite y anilina se mezclan totalmente. Los fluidos con bajo punto de anilina tienden a degradarse más rápidamente.

Humedad

Ningún aceite debe contener humedad suficiente como para afectar al sistema. El agua daña a la lubricación tanto física como químicamente. Esto es debido simplemente a que algunos aditivos son solubles en agua. Además el agua actúa como catalizador de la formación de ácidos, óxidos y otras sustancias dañinas.

La presencia de humedad en el combustible alterno puede causar varios problemas, como la formación de emulsiones, corrosión en los equipos, reducción de la eficiencia energética y emisiones más altas de contaminantes. Además, la humedad puede promover el crecimiento de microorganismos que pueden dañar el combustible y provocar problemas de obstrucción en los filtros.

Métodos para determinar el porcentaje de humedad en aceites

La humedad se considera un contaminante químico cuando está suspendida o mezclada con los lubricantes (emulsión), y representa una combinación de problemas químicos y físicos para el lubricante y la maquinaria, respectivamente. (Marianne Duncanson, ExxonMobil. Publicado en la revista Practicing Oil Analysis 9/2005).

Los efectos del agua son insidiosos. Las fallas ocasionadas por la contaminación con agua pueden ser catastróficas, pero pueden no ser inmediatas. Muchas fallas atribuidas a los lubricantes en realidad son causadas por exceso de agua en el lubricante.

Dado a que cada aceite presenta características físicas y químicas diferentes, debido a su procedencia, se requiere de un tratamiento específico, para poder analizar el porcentaje de agua que contienen los diferentes tipos de aceites.

Las pruebas de agua en aceite se pueden realizar utilizando varios métodos, algunos tan básicos como la prueba de crepitación (plancha caliente) o como parte de un espectro de análisis más amplio, la espectrometría infrarroja transformadas de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés). También están los métodos de ASTM D95 (sistema de destilación Dean & Stark) y los métodos de titulación volumétrica, identificado por ASTM D1744.

En técnicas más modernas; las concentraciones de agua en un lubricante pueden analizarse utilizando métodos de titulación coulométrica por el procedimiento A o B de ASTM D6304. Si bien son más confiables que las técnicas anteriores, estos métodos coulométricos aún pueden estar propensos a algunos contratiempos, como la interferencia de la matriz (aditivos específicos, contaminantes, etc.), alta viscosidad o pequeños volúmenes anticipados de agua en las muestras. Para estas situaciones, hay mejores métodos. Uno es el procedimiento C del estándar ASTM D6304.

Otro método popular es una variación del procedimiento ASTM D6304 que evapora el agua del aceite y luego la condensa y la destila en tolueno. Esto se conoce como el método de destilación.

A continuación, describiremos cada uno de los métodos para determinar el porcentaje de agua y así optar por el método más conveniente, dependiendo de nuestros alcances.

Método de crepitación

Una de las formas más fáciles de medir la presencia de agua libre y emulsionada en el petróleo es con la prueba del crujido de la placa caliente. Una emulsión es el estado estable de coexistencia física de sustancias químicamente insolubles, como el petróleo y el agua. Los aditivos e impurezas que reducen la tensión superficial del petróleo pueden servir como agentes para fortalecer la emulsión. El agua está en estado libre cuando los glóbulos de agua no disueltos están físicamente suspendidos en el aceite.

El ensayo de crepitación detecta la presencia de agua libre y emulsionada en aceite. Usando una placa caliente, este simple método tiene un límite de detección mínimo de 1000 ppm (0,1%) de agua en aceite, y los resultados se reportan como positivos o negativos. La presencia de agua en un fluido de base no acuosa indica contaminación por una fuente externa o por condensación. Niveles excesivos de agua promueven la degradación del lubricante y la corrosión de componentes.

En la prueba del crujido, se coloca una gota de aceite en una placa calefactora que ha sido calentada a aproximadamente 400°F. La muestra entonces burbujea, escupe, cruje o estalla cuando hay humedad. Si la prueba del crujido es negativa, significa simplemente que el nivel de agua presente en la muestra está por debajo del límite de detección; no significa necesariamente que la muestra esté vacía de agua.

A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de este método:

Ventajas:

- Es un método rápido y sencillo que no requiere de equipo sofisticado.

- Es adecuado para el control de calidad en el lugar de trabajo.
- Es útil para detectar grandes cantidades de agua en una muestra.

Desventajas:

- Es un método cualitativo y no proporciona una medida precisa del contenido de agua.
- Es menos preciso que otros métodos de análisis de agua.
- No es adecuado para detectar pequeñas cantidades de agua en una muestra.
- La interpretación de los resultados puede ser subjetiva y depende de la habilidad del operador.

Es importante tener en cuenta que el método de crepitación no proporciona información detallada sobre la composición química de la muestra. Por lo tanto, se utiliza en combinación con otros métodos de análisis físico-químico para obtener una evaluación más completa de la calidad de la muestra.

A veces la prueba del crujido puede no ser apropiada y se necesitaría hacer una prueba de Karl Fischer en todas las muestras. El crujido no es una prueba científica, sino una estimación que se ve afectada por el tipo de petróleo.

Método de Karl Fischer

El método de Karl Fischer es una técnica utilizada para la determinación precisa de la cantidad de agua presente en una muestra líquida. Este método se utiliza comúnmente para medir la humedad en productos químicos, alimentos, cosméticos y otros materiales.

La valoración Karl-Fischer se aplica en diversos ámbitos, tales como la determinación del contenido en agua en alimentos, productos químicos, medicamentos, cosméticos o aceites minerales. Este contenido en agua influye en las propiedades físicas y químicas de los productos, lo que está relacionado con su frescura y estabilidad frente al almacenamiento. En la industria petrolífera, el agua es uno de los mayores contaminantes. Y en la cosmética es

uno de los principales componentes, y el control de su contenido exacto es esencial para mantener intactas sus propiedades.

La muestra se disuelve o suspende en un disolvente adecuado que no contiene agua (suele emplearse metanol seco) y se añade el reactivo, que contiene yodo, con una bureta automática. El agua de la muestra reacciona con el reactivo, hasta que se ha consumido en su totalidad, y se detecta yodo libre en la disolución. El punto final de la valoración se determina volta métricamente con un electrodo de platino.

Ventajas

- Alta precisión y sensibilidad: el método es exacto en la determinación de la cantidad de agua presente en una muestra.
- Amplia gama de aplicaciones: se puede utilizar en una variedad de materiales, desde alimentos, hasta productos químicos y farmacéuticos.
- Resultados rápidos: el método de Karl Fischer es rápido y puede proporcionar resultados en minutos.

Desventajas

- Requiere equipo especializado: se requiere un equipo específico, incluyendo un titulador Karl Fischer y una solución de Karl Fischer adecuada.
- Costoso: el equipo y los reactivos necesarios para el método pueden ser costosos.
- Sustancias interferentes: Es importante asegurarse de que la muestra sea compatible con el método antes de realizar la prueba.
 - Compuestos que reaccionen con la solución: por ejemplo, algunos ácidos pueden reaccionar con la solución y producir agua.
 - Compuestos que pueden oxidar el yodo: como los aldehídos y las cetonas, lo que puede dar lugar a una reacción falsa positiva.
 - Compuestos que pueden reducir el yodo: como los alcoholes y los hidrocarburos insaturados, puede dar lugar a una reacción falsa negativa.

- Compuestos que pueden reaccionar con el agua en la muestra: algunos compuestos pueden hidrolizarse en presencia de agua y producir una reacción falsa positiva.

Para evitar esto, es importante realizar una prueba preliminar para determinar la compatibilidad de la muestra con el método. Además, se pueden utilizar diferentes soluciones de Karl Fischer o ajustar las condiciones de la prueba para minimizar los efectos de las sustancias interferentes.

Método de espectrometría infrarroja transformadas de Fourier (FTIR)

La espectroscopia FTIR es una técnica de análisis estadístico que provee información acerca del enlace químico o estructura molecular de los materiales. El análisis advierte de manera temprana la degradación y contaminación del lubricante; se ejecuta rápidamente y es capaz de detectar simultáneamente varios parámetros, incluyendo agua, combustible, glicol, oxidación, hollín y algunos aditivos.

El principio básico detrás de la espectrometría molecular es que las moléculas absorben energía de la luz en longitudes de ondas específicas, conocidas como sus frecuencias de resonancia (vibración). Por ejemplo, las moléculas de agua resuenan (vibran) alrededor del número de onda de 3450 (se indica como cm^{-1}), en la región infrarroja del espectro electromagnético.

Un espectrómetro infrarrojo funciona con una pequeña muestra que es colocada en una celda infrarroja, donde es sometida a una fuente de luz infrarroja, la cual hace un barrido desde las longitudes de onda de 4000 cm^{-1} hasta 600 cm^{-1} . La intensidad de la luz transmitida a través de la muestra es medida en cada número de onda, lo que permite que la cantidad de luz absorbida por la muestra sea calculada por la diferencia entre la intensidad de la luz antes y después de pasar por la celda de muestra. Esto se conoce como el espectro infrarrojo de la muestra.

En la Tabla 1 se indican las frecuencias típicas de resonancia de las moléculas más comunes encontradas en lubricantes utilizando FTIR.

A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de FTIR

Ventajas:

- Es una técnica no destructiva y no invasiva que no requiere la preparación compleja de la muestra antes del análisis.
- Permite la identificación y cuantificación de múltiples componentes en una muestra compleja.
- Es una técnica altamente sensible y precisa, capaz de detectar cantidades muy pequeñas de componentes en la muestra.
- Permite en un corto periodo de tiempo, lo que es especialmente útil en el control de calidad y la producción en masa.

Desventajas

- La espectrometría infrarroja no es una técnica cuantitativa, se requiere de calibraciones y curvas de calibración para determinar la cantidad de cada componente presente en la muestra.
- La interpretación de los resultados puede ser complicada, ya que la espectrometría infrarroja proporciona información sobre la presencia de grupos funcionales, pero no sobre la estructura molecular detallada.
- Algunos materiales no son adecuados para el análisis FTIR, ya que absorben la radiación infrarroja y pueden interferir con los resultados.

La espectrometría infrarroja transformada de Fourier es una técnica analítica muy útil y versátil que permite la identificación y cuantificación de componentes en una muestra de forma rápida y precisa. Sin embargo, su uso requiere de un conocimiento especializado para interpretar los resultados correctamente y existen ciertas limitaciones a la hora de analizar algunas muestras y componentes.

Método de Dean Stark

El método de Dean Stark es un método utilizado para determinar el contenido de agua en una muestra líquida. El método se basa en la separación de la muestra líquida y el agua por destilación azeotrópica (es una técnica especial en la que se adiciona otro componente para romper las interacciones intermoleculares). El nombre del método proviene de su inventor, el químico estadounidense Edwin Dean y el químico industrial estadounidense Charles Martin Stark.

El método consiste en colocar la muestra líquida en un matraz de destilación. Luego, se agrega un solvente que sea inmiscible con el agua, como el tolueno o el cloroformo. La mezcla se calienta, lo que hace que el agua se evapore y se arrastre con el solvente inmiscible en forma de azeótropo. El azeótropo se condensa en un refrigerante y se recolecta en un recipiente graduado llamado recipiente de Dean Stark. La cantidad de agua presente en la muestra líquida se puede determinar midiendo el volumen del azeótropo recolectado en el recipiente.

Como todo, el método de Dean Stark tiene sus ventajas y desventajas a continuación, se describen:

Ventajas:

- **Sensibilidad:** El método es muy sensible y puede detectar incluso pequeñas cantidades de agua en una muestra líquida.
- **Precisión:** Es un método preciso y se utiliza comúnmente en la industria para controlar la cantidad de agua en los aceites y grasas.
- **Facilidad de uso:** El método es relativamente sencillo y no requiere de equipos complejos para su realización.
- **Rapidez:** Es rápido y se puede obtener resultados en un corto período de tiempo.

Desventajas:

- **Toxicidad:** Algunos solventes utilizados como el tolueno y el cloroformo, son tóxicos y pueden ser peligrosos para la salud y el medio ambiente.

- Interferencia: Algunas sustancias en la muestra pueden interferir con el método y dar resultados erróneos como lo siguiente:
 - Compuestos solubles en agua (alcoholes, ácidos y bases fuertes)
 - Compuestos que formen emulsiones (como detergentes)
 - Compuestos con alto punto de ebullición
 - Muestras viscosas

Para minimizar la interferencia de estas sustancias en el método de Dean Stark, es importante elegir un solvente adecuado y filtrar la muestra antes de la destilación para eliminar cualquier impureza o partícula que pueda interferir con el método.

Es importante realizar el método de Dean Stark con precaución, utilizar equipos de laboratorio limpios y en buenas condiciones, siguiendo los procedimientos adecuados para garantizar la precisión de los resultados y considerando las limitaciones del método.

Normatividad

La SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) es el órgano del Poder Ejecutivo Federal encargado de la planeación y manejo de recursos naturales y las políticas ambientales con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable.

Así mismo la SEMARNAT expide NOM (Normas Oficiales Mexicanas) para regular el sector Ambiental con el firme objetivo de establecer características y especificaciones, criterios y procedimientos, que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen.

Los avances científicos y tecnológicos y la experiencia internacional sobre la caracterización de los residuos peligrosos han permitido definir como constituyentes tóxicos ambientales, agudos y crónicos a aquellas sustancias químicas que son capaces de producir efectos adversos a la salud o al ambiente.

Se requiere identificar si un residuo es peligroso y las características que hacen que se consideren como tales, en este caso determinar la clasificación del aceite usado y para eso se presenta la Norma Oficial Mexicana 052.

Se requiere de las siguientes autorizaciones en materia ambiental para el reciclado o procesamiento de residuos peligrosos.

NOM-052-SEMARNAT-2005

Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en lo conducente para los responsables de identificar la peligrosidad de un residuo.

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General de Equilibrio General y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

Definiciones

- CRETIB: Es el acrónimo de Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico Ambiental, Inflamable y Biológico Infeccioso
- Fuente específica: Las actividades que generan residuos peligrosos y que están definidas por giro o proceso industrial.
- Fuente no específica: Las actividades que generan residuos peligrosos y que por llevarse a cabo en diferentes giros o procesos se clasifican de manera general.
- Toxicidad Aguda: Es una sustancia o mezcla de sustancias puede provocar, a corto plazo o en una sola exposición, daños o incluso la muerte de un organismo.
- Toxicidad Crónica: Es una sustancia o mezcla de sustancias de causar efectos dañinos a largo plazo en los organismos, a partir de exposiciones continuas o repetidas.

El procedimiento para determinar si un residuo es peligroso se encuentra en el siguiente listado:

- Clasificación de residuos peligrosos por fuente específica.
- Clasificación de residuos peligrosos por fuente no específica.
- Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Agudos).

- Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Crónicos).
- Clasificación por tipo de residuos, sujetos a Condiciones Particulares de Manejo.

Para determinar las características que definen a un residuo como peligroso es bajo las condiciones señaladas como CRETIB:

- Corrosivo: cuando se presenta cualquiera de las siguientes propiedades.
 - Líquido acuoso que presenta un $\text{pH} \leq 2,0$ o $\geq 12,5$
 - Sólido que mezclado con agua destilada presenta un $\text{pH} \leq 2,0$ o $\geq 12,5$
 - Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero, el carbón, a una velocidad de 6,35 milímetros o más por año a una temperatura de 328 K (55°C).
- Reactivo: cuando una muestra presenta cualquiera de las siguientes propiedades.
 - Es un líquido o sólido que al ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición.
 - Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables.
 - Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor.
 - Posee en su composición cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases.
- Explosivo: cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento. Esta característica no debe determinarse mediante análisis de laboratorio, por lo que la identificación de esta característica debe estar basada en el conocimiento del origen o composición del residuo.
- Tóxico Ambiental: La característica de una sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona un desequilibrio ecológico a partir de sus compuestos tóxicos del residuo y su concentración

- Inflamable: cuando se presenta cualquiera de las siguientes propiedades.
 - Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60,5°C.
 - No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C.
 - Es un gas que, a 20°C y una presión de 101,3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire.
 - Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.
- Biológico-Infeccioso: Cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes, en un ambiente propicio, en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

Elección del método de Dean Stark

Por su facilidad de manejo y precisión, se escoge este método, ya que puede detectar mínimas cantidades de agua en una muestra de aceite. Por otro lado, no requiere de altos equipos especializados, así que sería de bajo presupuesto la instalación de un laboratorio.

Para crear la solución, se ocupará tolueno que es un disolvente inmiscible con el agua, el cual nos ayudará a observar la cantidad de agua que existe en el aceite. Y su densidad es menor a la del agua, el cual nos ayudará en la reacción.

El aparato Dean Stark, colector Dean Stark o trampa Dean Stark es una pieza de vidrio utilizada en química para recolectar o eliminar agua (u ocasionalmente otro líquido) del medio de reacción. Se utiliza en combinación con un condensador de reflujo y un matraz colector para eliminar de manera continua el agua que se produce durante una reacción química a cierta temperatura.

Procedimiento

Consta de una trampa vertical de vidrio, a menudo con graduación volumétrica en toda su longitud y con un grifo de precisión en la parte inferior de manera similar a una bureta. En la parte superior de la trampa se acopla la parte inferior del condensador (refrigerante). De la parte lateral de la trampa sale un brazo, este para poder adaptarse al matraz colector. Como se muestra en la figura 1.

Durante la reacción, los vapores formados por el disolvente de la reacción y el componente a eliminar, suben del matraz hacia el refrigerante y condensan cayendo en el colector Dean Stark. En éste, los líquidos inmiscibles se separan en dos fases. La fase superior (menos densa) logra el nivel del brazo lateral fluye de vuelta hacia el matraz de reacción, mientras que la fase inferior queda en la trampa. Es importante eliminar parte de esta capa inferior a través del grifo del aparato Dean Stark tantas veces como sea necesario.

Procedimiento para el Reciclaje de Aceite

Se realiza el siguiente procedimiento para la elaboración de combustible alternativo provenientes de los aceites usados. El aceite usado se recoge de los puntos de generación, como talleres mecánicos, fábricas y hogares, y se transporta a las instalaciones de reciclaje.

Antes de ser enviados los aceites a la planta de reciclaje, se deberán retirar los sólidos que contengan, para evitar una alta cantidad de los mismos, reduciendo con esto la generación de lodos durante el proceso de reciclaje.

Análisis

Se comienza realizando el análisis de humedad del aceite, mediante el método Dean Stark, de esta manera no habrá retrasos en las muestras de aceite que lleguen a la planta de reciclaje, por la rapidez y precisión en la que se realiza.

Los aceites tienen un límite permisible que va de los 300 a 2600 ppm. En caso de que la humedad rebase el 8% de carga o el residuo no sea aceite, el material será rechazado.

Se realiza la inspección de olor y color de manera visual. Recordando que es una práctica sencilla que nos proporciona información valiosa sobre la condición del aceite, ya que ciertas características pueden indicar contaminación, oxidación u otros problemas.

También se mide la densidad con ayuda de un densímetro, nos ayudará a determinar si el residuo cumple con las características necesarias para su reciclaje. En la Tabla 2 se presenta una tabla con algunas densidades aproximadas de aceites usados. Es importante tener en cuenta que estos valores son aproximados y pueden variar dependiendo de las condiciones y de la suciedad de cada muestra de aceite usado.

Cuando el aceite presente las características adecuadas para su reciclaje se procede a verificar la capacidad del tanque de almacenamiento, esto con el fin de evitar sobrellenado, una vez revisado, se realiza la maniobra de descarga de la unidad para el vaciado de aceite.

Filtración

La filtración de aceite es el proceso de pasar a través de un medio poroso permeable, un fluido para retener las micropartículas no deseadas que están en suspensión en él. Las micropartículas pueden ser generadas por la abrasión de las superficies de los componentes del motor, la oxidación del aceite, la contaminación del aire, entre otros factores. El proceso permite eliminar estas impurezas y contaminantes, con el objetivo de obtener un aceite limpio y apto para su reutilización.

El aceite usado pasa a través de un filtro tipo tambor giratorio para retener las micropartículas menores de 0.5 mm que pudiesen encontrarse en el aceite, como tierra, arena, cenizas y partículas metálicas.

El funcionamiento del filtro de tambor se basa en su rotación, que se realiza mediante un motor eléctrico o un sistema hidráulico. El filtro tiene una malla colocada sobre su superficie.

Cuando el tambor gira, la parte sumergida en el aceite se llena de éste, y las partículas sólidas quedan atrapadas en la malla o tela filtrante. A medida que el tambor sigue girando, la parte sumergida sale del aceite, y las partículas sólidas se secan y se desprenden por efecto de la gravedad o mediante un sistema de cuchillas, como se muestra en la figura 2.

Sedimentación

Se trata de la separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas son más densas que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad. La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el aceite hace que, aunque éste último tenga un movimiento, las partículas sólidas logren sedimentarse y se depositen en el fondo del tanque, en donde serán eliminadas en forma de lodos. Como se muestra en la figura 3.

En este proceso se agregan desemulcionantes, estos son aditivos utilizados para separar las emulsiones, en este caso, agua y aceite. Estos aditivos pueden cambiar la tensión superficial de la emulsión, lo que ayuda a romperla y a separar el agua del aceite.

Algunos ejemplos de desemulsionantes comunes incluyen surfactantes como éteres de glicol, éteres de polioxietileno, ácidos grasos y sus sales, alquilfenoles y alquilaminas. También se pueden utilizar polímeros como poliacrilamidas y poliésteres para mejorar la desemulsión del aceite.

Centrifugado

La centrifugación es un método de separación utilizado en la industria para separar los componentes de una mezcla líquida o sólida a través de la aplicación de fuerzas centrífugas. Este proceso aprovecha la diferencia de densidad entre los componentes de la mezcla para separarlos.

En un equipo de centrifugación, la mezcla se coloca en un rotor que gira a alta velocidad, generando una fuerza centrífuga que empuja los componentes más densos hacia el fondo del rotor, mientras que los menos densos se quedan en la parte superior. Se pueden separar desde partículas sólidas hasta líquidos de diferentes densidades.

Una vez eligiendo el sistema de centrifugado (fig. 5) la mezcla de aceite avanza a través de un tubo de entrada inmóvil hacia el interior del tambor y el distribuidor lo acelera de forma progresiva hasta alcanzar la máxima velocidad. El sistema de discos del tambor divide la mezcla en numerosas capas finas, logrando separar los líquidos y los sólidos.

Las fases líquidas separadas (el agua y el aceite) por fuerza centrífuga se conducen mediante presión a través de dos rodetes centrípeta hasta el tambor. Gracias a la fuerza centrífuga, los sólidos separados se depositan en el espacio para sólidos del tambor. A través de un sistema hidráulico en la parte inferior del tambor, los sólidos separados son expulsados.

Los sólidos y el agua que fueron expulsados, serán recolectados para que posteriormente sean enviados a destinos finales autorizados.

Análisis y pruebas de calidad

El porcentaje de humedad en el combustible alterno es un parámetro crítico que debe ser controlado ya que puede afectar su calidad y rendimiento. Aunque los límites de humedad permitidos pueden variar según la normativa aplicable y las especificaciones del combustible alterno, generalmente se establece un límite máximo de humedad del 0.5% o incluso menor.

Una vez terminado el proceso de centrifugación, se toma una muestra para determinar si el aceite presenta las características requeridas como combustible alterno, mediante el método de Dean Stark y nuevamente se mide la densidad. En caso de que la humedad siga siendo mayor al 0.5% se repetirá el proceso desde el sedimentado y si pasa la prueba de calidad se envía al tanque de almacenamiento para su distribución.

Almacenamiento y Distribución

El almacenamiento y distribución del aceite es una etapa importante en el proceso de reciclaje, ya que es necesario asegurar que el aceite reciclado se almacene y transporte de manera adecuada para evitar la contaminación y garantizar la calidad del producto final.

Las siguientes consideraciones son importantes de tener en cuenta para el almacenamiento y distribución del aceite reciclado:

- El almacenamiento y distribución del combustible alterno debe de ser en tanques cerrados, limpios, secos y alejados de fuentes de calor o ignición.
- Para su distribución debe estar etiquetado y con la documentación adecuada de los tanques o recipientes.
- Evitar la mezcla del aceite reciclado con otros aceites o productos químicos durante el almacenamiento y distribución.

Es importante que se sigan estas recomendaciones para garantizar la calidad del aceite reciclado y reducir los riesgos de contaminación o accidentes durante el almacenamiento y distribución.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Impacto social, económico y ambiental

Un buen proceso de reciclaje es una herramienta poderosa que no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede impulsar positivamente las condiciones socioeconómicas. El reciclaje de aceite, en particular, tiene una serie de impactos significativos en la sociedad que merecen destacarse.

En primer lugar, el reciclaje de aceite contribuye a la generación de ingresos para la comunidad. Al recolectar, procesar y reciclar aceite usado, se puede generar combustible alternativo y hasta biocombustible. Estos insumos pueden ser comercializados tanto a nivel local como a nivel regional o nacional, lo que abre grandes oportunidades económicas.

Esta actividad económica no solo crea oportunidades de empleos directos, sino que también fomenta la expansión de pequeñas y medianas empresas dedicadas al reciclaje de aceite, la producción de biocombustibles y la fabricación de productos químicos derivados. Los ingresos generados no solo benefician a los trabajadores involucrados en el proceso, sino que también repercuten positivamente en los dueños de negocios relacionados con el reciclaje de aceite. Esto puede incluir desde la recolección inicial del aceite usado hasta su procesamiento y distribución.

Además, el reciclaje de aceite contribuye a reducir la contaminación y los daños al medio ambiente. Como se ha mencionado previamente, el aceite usado puede ser altamente perjudicial si se vierte incorrectamente en el medio ambiente. Cuando esto ocurre, contamina el suelo y los cuerpos de agua, causando estragos en los ecosistemas locales y teniendo un impacto negativo en la salud de la flora y fauna circundante. La degradación ambiental resultante puede tener consecuencias a largo plazo, incluida la pérdida de biodiversidad y la alteración de los ecosistemas naturales. Sin embargo, el reciclaje adecuado del aceite evita este daño ambiental, promoviendo la sostenibilidad y la conservación de los valiosos recursos naturales de nuestra Tierra.

Un impacto igualmente relevante es la conciencia ambiental que fomenta el reciclaje de aceite en la sociedad. A medida que las personas se vuelven más conscientes de la importancia de reciclar aceite y otros materiales, se producen cambios significativos en su comportamiento y hábitos de consumo. Esta toma de conciencia no se limita solo al reciclaje

de aceite, sino que se extiende a otras áreas de la vida cotidiana, como la reducción del consumo de plásticos, el ahorro de energía y la adopción de prácticas más sostenibles. El reciclaje de aceite, por lo tanto, actúa como un catalizador para la creación de una cultura de respeto por el medio ambiente y la responsabilidad compartida hacia la protección de nuestros recursos naturales. Esta cultura ambiental puede inspirar cambios profundos en la sociedad, promoviendo un enfoque más equilibrado y sostenible en la relación entre los seres humanos y la naturaleza, lo que es esencial para abordar los desafíos ambientales globales que enfrentamos en la actualidad.

Por último, al producir combustibles alternativos a nivel local, una sociedad puede aumentar su resiliencia energética. Esto significa que, en caso de interrupciones en el suministro de combustibles fósiles, ya sea debido a problemas de transporte, escasez o desastres naturales, la sociedad todavía puede contar con una fuente de energía local y sostenible, lo que garantiza la continuidad de las operaciones y la estabilidad económica.

Así mismo, el reciclaje de aceite y la producción de biocombustibles locales pueden disminuir la necesidad de importar grandes cantidades de petróleo y productos relacionados, lo que, a su vez, puede mejorar la posición financiera de una sociedad y fortalecer su seguridad energética.

En resumen, el reciclaje de aceite y la conversión de aceite usado en combustibles alternativos no solo diversifican la matriz energética y reducen la dependencia de fuentes de energía fósil, sino que también tienen un impacto significativo en la seguridad energética a través de, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el fomento de la innovación y la inversión, la mejora de la resiliencia energética local y la reducción de la dependencia de la energía importada. Estos factores, en conjunto, contribuyen a una sociedad más segura energéticamente y económicamente estable a largo plazo.

CONCLUSIONES

Se concluye que el proyecto de reciclaje de aceite, para buscar una forma de combustión alterna amigable al ambiente, en comparación a los combustibles fósiles que actualmente se utilizan a nivel mundial.

Nos da como resultado que al tomar esta alternativa, se disminuye en un 30% la contaminación de aire y agua.

El aire que actualmente se ve afectado en CO₂, aumentaría su calidad, así mismo el agua, cuando al ser extraídos los productos fósiles de donde se generan los aceites, en muchas ocasiones se producen accidentes que contaminan nuestros mares, al utilizar el combustible alterno, ya no existiría este tipo de accidentes.

Y si hablamos de economía, para las empresas este tipo de reciclaje genera bajos costos y por lo tanto les da opción para mejorar su tecnología que da opción para implementar maquinaria con una producción más limpia y eficiente.

A nivel nacional, al tomar esta opción de reciclaje permite a los países en desarrollo, modificar sus políticas de residuos, para motivar a las empresas a disminuir considerablemente la utilización de productos naturales, y en su lugar provocar cambios que permitan utilizar al máximo los residuos industriales (aceites), de igual manera se da opción para abrir nuevos mercados y profesiones que permitan impulsar nuevas tecnologías, que reutilicen este tipo de combustibles.

De esta manera al permitir que los suelos y el agua se vean liberados de los combustibles que actualmente se utilizan en un alto porcentaje, se mantendrían lo más limpio posible y así poder conservarlos por más tiempo al que hoy se tiene contemplado. Caso contrario los medios con los que actualmente contamos y junto con ellos, flora y fauna se seguirá viendo afectada al seguir contaminado el medio en el que viven, y en mucho de los casos se aceleraría la pronta extinción de las especie.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Esto proyecto nos muestra que actualmente los desperdicios de aceite, es de los mayores contaminantes de recursos naturales, es por lo que debemos hacer conciencia, tanto de forma individual, social, y de ser posible a niveles mundiales que impulsen ideas, reformas y nuevas tecnologías para reciclar, reutilizar elementos que al ser desechados generan afectaciones importantes a nuestro medio ambiente.

Se encontró que las investigaciones realizadas en la actualidad, demostró que los costos, recursos, y contaminación demostró que disminuyen al reutilizar aceites para combustión interna, como lo demuestra en esta investigación, debido a que tan solo en la ciudad de México y área metropolitana los desperdicios llegan a alcanzar cifras del 50% desechado en comparación al que se consume. Y como profesionistas es importante invertir en nuevas tecnologías, investigaciones y aplicación para generar nuevas formas de reutilizar estos combustibles, para lograr que el porcentaje de deshecho disminuya considerablemente, al hacer esto podremos ver resultados a corto, mediano y largo plazo. No solo de forma ecológica, también de forma económica y social.

Podemos promover nuevas tecnologías, como el método de la espectrometría infrarroja, que a pesar del costo que conlleva aplicarlo, los resultados elevan la calidad de los recursos y al ser implementados en gran escala y apoyados de alguna forma por las industrias y el gobierno, los costos pudieran disminuir en un futuro, logrando que la aplicación de estas técnicas se promueva y se realicen cada vez en mayor medida.

Es importante impulsar profesionistas que conozcan de nuevas tecnologías para promover el reciclaje de aceite, como se especifica en este proyecto, así como de diversos productos que hoy nos hemos dado cuenta que al pasar el tiempo son creados, pero no se contempla que pasará con ellos cuando sean desechados, se requieren persona que tengan conocimientos para aplicar la normatividad de acuerdo a lo que establece SEMARNAT, que al estar regularizado se ampliará el conocimiento y se logrará diversificar y ampliar la reutilización de estos combustibles.

Sin embargo a la fecha también conocemos la sociedad en la que vivimos, considero importante que se realicen auditorías de forma constante para verificar que la metodología y las tecnología implementada se lleven a cabo, para seguir generando nuevas ideas y a la vez se contemple a futuro nuevos productos que salgan al mercado y se considere desde un principio lo que va a pasar con ellos al ser desechados y tomar medidas por adelantado para considerar como reutilizarlo para evitar contaminar el ambiente.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Zhu, J., Zhang, H., & Li, L. (Eds.). (2013). Advanced Biofuels and Bioproducts.
- Demirbas, A. (2007). Alternative Fuels for Transportation.
- Krishnan, S. S., & Singh, R. K. (2019). Biodiesel Production and Applications.
- Lu, C., et al. (2013). Biofuels Engineering Process Technology.
- Franco, C. R., & Betancourt, E. A. (Año no disponible). Combustibles alternativos para motores diésel: Evaluación técnica y económica.
- De, C., Aceites, L., Por, L., & Origen, S. U. (Año no disponible). Tipos y Clasificación de los Aceites Lubricantes. Industrialangol. Cl.
- Hernández, J. L., & González, M. C. (Año no disponible). Formulación y evaluación de combustibles líquidos alternativos para el sector del transporte en México.
- Wilkinson, D. P. (Ed.). (2011). Fuel Processing for Fuel Cells.
- Griffin, A. C. (2016). Espectrometría Infrarroja Transformada de Fourier. Enciclopedia de Ciencia Analítica.
- Flottweg. (s. f.). Get More Oil From Your Olive. <https://www.flottweg.com/es/la-gama-de-productos/centrifuga-de-discos/separador-de-tres-fases/>
- Luque, R., Campelo, J., & Clark, J. (Eds.). (2011). Handbook of Biofuels Production.
- Harris, D.C. (2010). Análisis Químico Cuantitativo. Grupo Editorial Patria.
- Moya, D. (2011). Tipos de aceites industriales. Filosofía.
- Gob.Mx. (Año no disponible). NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasifica.
- Torres, A., & García, R. (Año no disponible). Producción de biodiésel a partir de aceites vegetales: una alternativa para el uso de combustibles fósiles.

- Sánchez, M. J. R., Gallegos, S. L. M., & Romo, S. P. (2014). Reciclado de aceites lubricantes usados: una revisión del estado actual. *Revista de la Facultad de Ingeniería*.
- Fernández, M. A. (2014). Reciclado de aceites usados en la fabricación de biodiésel. *Ingenius*.
- García, R., García, A., & Navarro, R. (2016). Reciclado de aceites usados para su uso como combustible en motores diésel. *Revista de Metalurgia*.
- Sanguinetti, E. (2008). Aceites y lubricantes industriales: qué son y su origen.
- Singh, R. P., & Srivastava, A. (2018). An overview of lubricant deterioration and oil condition monitoring techniques. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
- Smith, B. C. (2011). *Fundamentos de Espectrometría Infrarroja Transformada de Fourier*. CRC Press.
- Spoel, S. J., Marrink, H. J. C. Berendsen, (1998). Determinación de agua por Karl Fischer Titulación volumétrica. *Journal of Physical Chemistry B*.
- Ravindranath, N., & Gupta, H. S. (Eds.). (2019). *Sustainable Transportation Fuels from Biomass and Waste*.
- Navarro, R., & García, R. (2011). *Tecnologías de reciclado de aceites usados*. Ingeniería Química.
- Tejada Tovar, C. N., Quiñones Bolaños, E., & Fong Silva, W. (2017). Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje.
- Aparicio, A. R., Romero, M. Á. G., & López, D. H. (2018). Tratamiento de aceites usados para su reciclaje en la industria de la lubricación.
- Zhang, J., Li, J., & Sun, Y. (2016). Análisis Cuantitativos de Mezclas Complejas por Espectrometría Infrarroja Transformada de Fourier. *Química Analítica*.

ANEXOS

Imágenes

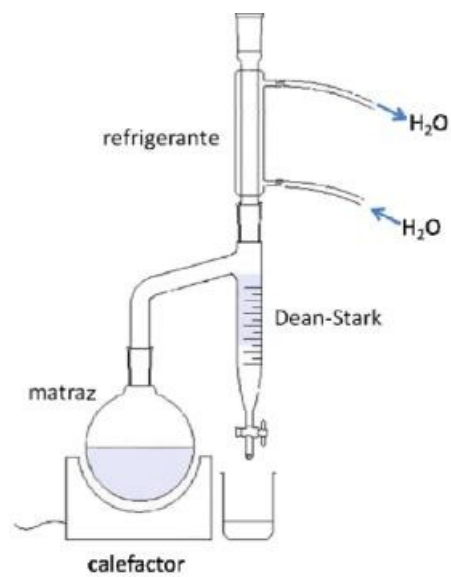


Figura 1: Equipo Dean & Stark

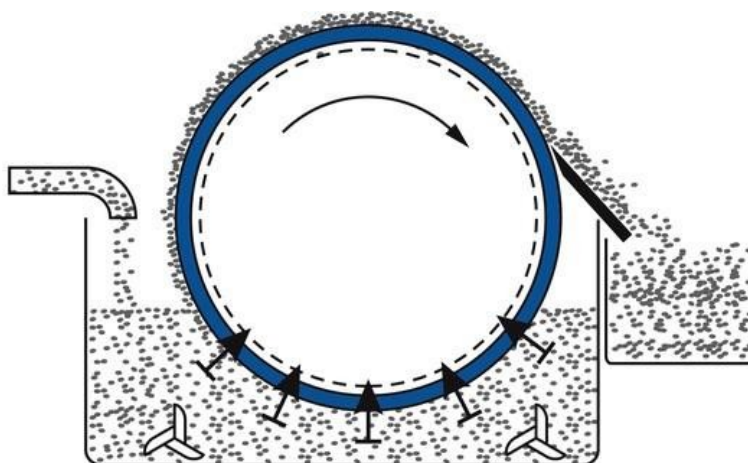


Figura 2: Filtro de tambor giratorio

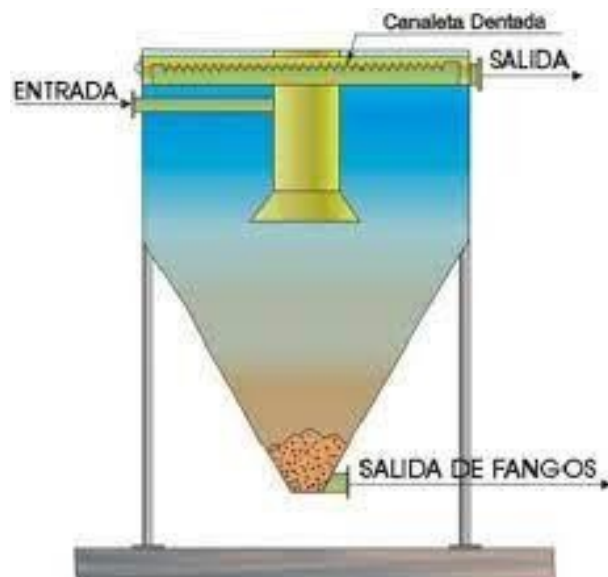


Figura 3: Sedimentación del aceite

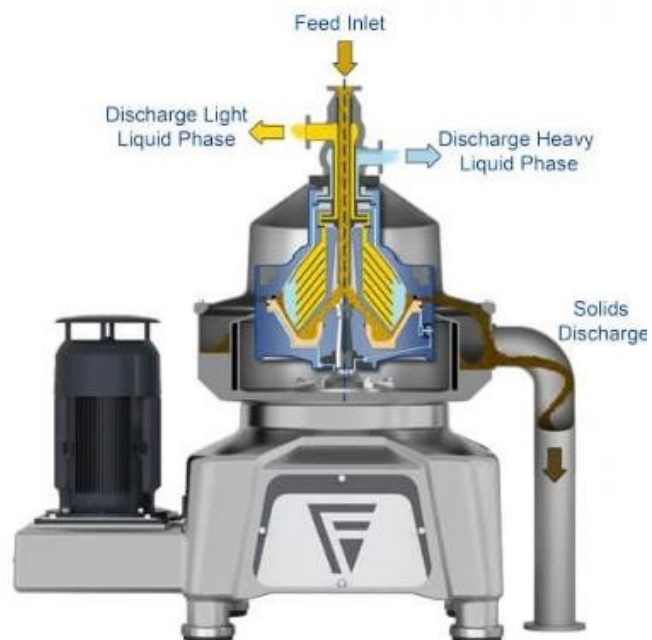


Figura 4: Proceso de centrifugación

TABLAS

Tabla 1: Moléculas comunes medidas con FTIR

Parámetro	Número de onda (cm ⁻¹)	Desviación	Interferencias
Oxidación (ASTM D 7214)	Aceite mineral - 1750 Éster orgánico - 3540 Éster fosfatado - 815	± 25%	Mejoradores de IV, dispersantes, contaminación con alto nivel de humedad
Sulfatación	1150	± 25%	Aditivos con azufre (ZDDP, EP azufre/ fósforo, algunos inhibidores de corrosión)
Nitración	1630	± 25%	Mejoradores de IV, dispersantes
Hollín	2000 (monitoreo del cambio con respecto a la línea de base)	± 10%	Tamaño/densidad de la partícula, tipo de motor, color del aceite
Agua	Aceite mineral - 3400 Éster orgánico - 3625	± 25%	Exceso de hollín, aditivos detergentes, glicol, antioxidante, básicos de ésteres, oxidación severa, agua libre vs. disuelta
Glicol	880, 3400, 1040 y 1080	± 50%	Agua, antioxidantes, sub-productos de oxidación
Combustible	Diesel - 800 Gasolina - 750 Turbosina - 795 - 815	± 50%	Variación en aromaticidad del combustible, evaporación de combustible
Fenol inhibido	3650	± 50%	Humedad, glicol
ZDDP	980	± 35%	Impurezas aromáticas, combustible, silicio (tierra)

Tabla 2: Densidades de los tipos de aceite

Tipo de aceite	Densidad (kg/m ³)
Aceite de motor usado	880-920
Aceite hidráulico usado	880-920
Aceite de engranajes usado	870-900
Aceite de transformador usado	890-940
Aceite térmico usado	840-880
Aceite de cocina usado	910-940