

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



**DESCRIPCION DE LOS EFECTOS DEL BIODIESEL EN LAS
PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS LUBRICANTES.**

Realizado por:

Jesús Rafael Pérez Moreno

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al Título de:**

INGENIERO QUIMICO

Barcelona, Noviembre de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**DESCRIPCION DE LOS EFECTOS DEL BIODIESEL EN LAS
PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS LUBRICANTES.**

Revisado Por:

**Dr. Henry Espinoza Bejarano
Asesor Académico**

Barcelona, Noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA



JURADOS

Ing. Henry Espinoza Bejarano (Dr)
Asesor académico

Ing. Alexis cova (MSc)
Jurado principal

Ing. Luis Moreno
Jurado principal

Barcelona, Noviembre de 2011

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines Con el consentimiento del consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al consejo Universitario”

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas.

A la memoria de mis abuelos.

A mis Padres, María Cristina Moreno y Víctor Hugo Pérez

A mi hermano, Víctor Martín Pérez Moreno.

A Eugenia Muños, por llenar de alegría el hogar de mis familiares.

A Nathali Moreno, quien desde mi primer día en la Universidad de Oriente, nunca ha dejado de orar y preocuparse por mi bienestar.

AGRADECIMIENTOS

A *Dios*, por acompañarme durante toda mi vida, por darme fuerzas día a día y por darme tantas razones para ser feliz.

A la *UDO*, la casa más alta, por permitirme formarme como profesional y como persona, dándome el orgullo de siempre poder ser llamado 100% *UDISTA!*

A *mis padres* y abuelos, a quienes debo la mayor herencia que un ser humano puede desear, la mejor formación de todas.

A *mi hermano, Víctor Martín Pérez Moreno*, por ser el mejor de los amigos y nunca dejarme solo en ningún momento.

A *mi Tutor: Dr Henry Espinoza Bejarano*, quien compartió mas que generosamente su conocimiento y amistad conmigo, tal como se disipa la luz en la oscuridad, sin dejar sombra alguna.

A *los Profesores: Luis Moreno y Alexis Cova*, por permitirme realizar esta meta.

Al Profesor, Wilmer José Marcano Lanza, por todas sus consejos y el apoyo incondicional.

A los Profesores, Pedro Salazar, Marcos Muños y Julia Marcano, por su fundamental apoyo en la realización de este trabajo.

A la Lic. Luisa Salazar, por se parte de mi familia adoptiva en la Universidad de Oriente.

A quienes me abrieron las puertas de sus hogares y su corazón haciendo sentir como en el mío propio.

A todas y cada una de las personas que alguna manera han sido y seguirán siendo para mi fuente de bendición.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de un lubricantes diesel ante la dilución con biodiesel, para la cual se utilizó aceite lubricante con estándares internacionales de fabricación, para motor diesel SAE 15W-40, marca Valvoline, tipo VALVODIESEL API CI-4 "ALL-FLEET SUPER MOTOR OIL". Se seleccionó una muestra de biodiesel producido con estándares internacionales, proveniente desde la Republica Argentina, elaborado por la empresa UNITEC BIO S.A, en la Provincia de santa Fe, en la localidad de Punta Quebrada. Se analizaron muestras de aceite diluidas con 5, 10 y 15% de biodiesel. Los análisis de propiedades físico-químicas se realizaron bajo las normas ASTM. Los resultados demostraron que la dilución del combustible en el aceite lubricante reduce la viscosidad y aumenta el índice de viscosidad, produce agotamiento de la reserva de alcalinidad en el aceite, indicado por la disminución del número de base total (TBN), disminuye. La contaminación con biodiesel dentro del rango estudiado aumenta el desgaste de los pares tribológicos con movimiento relativo. Igualmente, se observó que a medida que aumenta la concentración de biodiesel en el aceite lubricante aumentan los compuestos oxidados en el lubricante. Finalmente propone la producción en biodiesel en Venezuela desde el punto de vista del ambiente y desarrollo sustentable, es necesaria para contrarrestar el impacto negativo de la combustión de los productos del petróleo. Además, resulta factible la investigación en Venezuela del uso del biodiesel con aditivo al diesel de petróleo.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El petróleo es la fuente de energía más importante de la sociedad actual, sólo ponerse a pensar qué pasaría si se acabara repentinamente, enseguida habría que darse cuenta de la dimensión de la catástrofe: los aviones, los automóviles y autobuses, gran parte de los ferrocarriles, los barcos, las máquinas de guerra, centrales térmicas, muchas calefacciones dejarían de funcionar; además de que los países dependientes del petróleo para sus economías se hundirían en la miseria. Aunado a esto, la preocupación general por el carácter no renovable de los combustibles fósiles y la alta contaminación atmosférica causada por éste, se han convertido en las fuerzas propulsoras que están impulsando la investigación mundial sobre combustibles alternativos para motores, especialmente aquellos derivados de la biomasa.

En lo referente a motores diesel, el biodiesel, dadas las ventajas técnicas, estratégicas y ambientales que ofrece, constituye la mejor alternativa para sustituir parcial o totalmente al combustible diesel derivado del petróleo, pues éste es un compuesto utilizado desde hace décadas y conviene realizar una revisión de las experiencias del pasado para decantarlas y aprovechar los conocimientos adquiridos en el desarrollo de esta tecnología. El biodiesel se obtiene mediante la reacción de un aceite vegetal o grasa animal con un alcohol de bajo peso molecular en presencia de un catalizador.

La clave de la economía de la producción del biodiesel se encuentra en las materias primas utilizadas. El reto para cualquier país o región consiste en la implementación de procesos de producción basados en materias primas con disponibilidad local. Dichos procesos se deben optimizar con el objetivo de obtener un biocombustible con un costo de producción competitivo y que, además, posea una calidad adecuada, que en realidades como la venezolana resultarían en un impulso a la actividad agrícola, con miras al desarrollo de un nuevo modelo económico menos contaminante.

Teniendo claro que la situación política y económica venezolana, en su gran parte, depende de la renta petrolera, se realiza la siguiente investigación destinada a hacer un aporte científico con un profundo acento ambiental con estándares internacionales. El siguiente estudio comprende la evaluación del biodiesel como una fuente energética alternativa sometiendo a ensayos en motor diesel y pruebas de laboratorio, en las cuales se analiza el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas en los lubricantes.

1.2 Planteamiento del problema

En grandes números, todos los análisis del consumo energético mundial proyectan un crecimiento sólido de fuentes energéticas alternativas; no obstante, es el petróleo la fuente tradicional para abastecer esta sed universal. El fin del petróleo no es para mañana; sin embargo, es necesaria una transición a diferentes tecnologías que permitan satisfacer el complicado mercado internacional energético a consecuencia de los crecientes aumentos en los precios del crudo. Aunado a esto, se vienen dando cambios en la forma de aprovechar los recursos naturales en aras de disminuir la degradación del ecosistema, a través de alternativas como lo representan los combustibles biológicos, pues resulta una solución sustentable de las

demandas económicas y de problemas ambientales específicos con amplio beneficio social y de buen nivel competitivo.

Es por ello que universalmente se cree que los biocombustibles serían el sustituto ideal del petróleo, total o parcialmente. Al respecto, cabe referir que el biodiesel se define como el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivado de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores diesel. Se presenta en estado líquido y se obtiene a través de un proceso denominado transesterificación. Este proceso básicamente consiste en el mezclado del aceite vegetal o grasas con un alcohol (generalmente metanol) y un álcali (soda cáustica). Al cabo de un tiempo de reposo, se separa por decantación el biodiesel de su subproducto glicerol. Es el único combustible alternativo que puede utilizarse directamente en cualquier motor diesel, sin requerir ningún tipo de modificación.

Hoy en día, dichos motores requieren un combustible que al ser sometido a distintas condiciones en las que opera, permanezca estable y, por otra parte, sea limpio al quemarlo. En cuanto al desarrollo tecnológico, existen algunas variantes que resultan indispensables inculcar y fortalecer, por parte del biodiesel, Incrementa la eficiencia y duplica la durabilidad del motor, mejorando su ignición y lubricidad, posee un importante poder lubricante, por lo que puede ser considerado un aditivo para mejorar la lubricidad.

Uno de estos problemas ambientales, tal vez el más grave, es el calentamiento global que incluye entre sus factores al efecto invernadero, debido a la acumulación de gases de invernadero provocados por la actividad humana desde la revolución industrial y se aceleró con el

descubrimiento del petróleo, puesto que la quema de combustibles fósiles representa la principal fuente de producción de gases contaminantes; a tal efecto, surge el protocolo de Kioto, éste es un mecanismo internacional acordado en 1997, que floreció del Convenio Marco sobre cambio climático de la *ONU* (UNFCCC), reunió en un principio a 55 naciones industrializadas para hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. La producción de biodiesel es alentada con importantes incentivos y exenciones fiscales a nivel internacional. El protocolo de Kioto financia la inversión otorgando créditos de carbono a quienes logren reducir las emisiones de CO_2 , incuestionablemente opción menos contaminante que el gasoil mineral, personificando un combustible seguro en su manejo y almacenamiento, destacando así lo favorable para el ambiente y la practicidad que lucen los biodiesel como opción alternativa.

El biodiesel ha demostrado su aplicación en los motores, pero los fabricantes de motores y vehículos siguen poniendo obstáculos debido al supuesto efecto del biodiesel sobre el lubricante, mezcla que ocurre durante la lubricación del pistón, alterando las propiedades del lubricante.

El estudio del efecto de los biodiesel sobre los lubricantes es un fenómeno que no está bien estudiado, por lo que el análisis de este proceso químico a nivel de laboratorio, permitió lograr innovaciones científicas a fin de promover la resolución de un holocausto ambiental, aplicable a la necesidad mundial por energía.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Describir los efectos del biodiesel en las propiedades fisicoquímicas de los lubricantes.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elegir las muestras de biodiesel y lubricantes para el estudio que cumplan con las normas internacionales.
- Identificar las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y lubricantes usados en motores diesel.
- Determinar el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del lubricante ante diferentes grados de contaminaciones con biodiesel, a través de análisis de laboratorio.
- Presentar opciones sobre el uso de biodiesel como fuente energética alternativa en Venezuela.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En 2009, Lozano ^[1], realizó estudio con el fin de conocer la realidad del mercado de los biocombustibles y valorar si su desarrollo es viable, ofreciendo una enumeración de posibles medidas que cualquier administración podría adoptar para fomentar el sector de los carburantes biológicos.

En 2008, Chica y Espinoza ^[2], publicaron en la revista INGENIUS, un planteamiento como solución inmediata a los problemas de contaminación que causan los vehículos motorizados en la ciudad de Cuenca, Ecuador, que puede ser puesto como ejemplo en la situación ecológica actual. Esta investigación realizada en Ecuador, también debe realizarse en Venezuela.

En 2007, Benavides, Benjumea y Pashova ^[3], del Grupo Combustibles Alternativos, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, presentan un estudio experimental sobre la producción y utilización del biodiesel de aceite de higuera en motores diesel.

En 2006, Cabrices ^[4], en su presentación de Trabajo de Grado, muestra análisis fisicoquímicos a lubricantes en la evaluación del funcionamiento del motocompresor K-11 ubicado en la Planta Acema 200 Del Distrito Sur San Tome.

Las referencias citadas, cumplen con modelos elementales para la realización de la investigación, la publicación en la revista INGENUS (Chica y Espinoza), genera un soporte al proyecto, respecto a conceptos básicos en el área de biodiesel, induciendo a definiciones alternativas que facilitan su preparación, además la elaboración del Grupo de Combustibles Alternativos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, proporciona algunos parámetros que ayudaran la escogencia a futuro de los biodiesel a utilizar en las evaluaciones correspondientes, representando las limitaciones y los alcances que puede presentar la investigación. Así también, la evaluación fisicoquímica de los lubricantes realizada por Cabrices.

2.2 Biodiesel

Según Chica y Espinoza ^[2], el biodiesel es un combustible ecológico elaborado a partir de elementos cien por ciento naturales biodegradables. La materia prima básica son los aceites de origen animal o vegetal obtenidos de semillas (soya, palma africana, girasol, maní, etc.) y también reciclando aceite usado para cocción. Luego, mediante una reacción química entre los triglicéridos contenidos en estos aceites y un alcohol de bajo peso molecular (etanol o metanol), se obtiene el biocombustible. Los procesos industriales por los que se obtiene el biodiesel se los conoce como esterificación y transesterificación.

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Materials Standard) lo describe como “ésteres monoalquílicos de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores ignición de compresión” ^[5].

2.2.1 Propiedades del biodiesel

En referencia a lo expuesto por Ciria (2006) ^[6], las propiedades de un biodiesel dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido. En función de la naturaleza de la fuente, animal o vegetal, proporcionará unas características particulares al nuevo combustible:

Punto de Inflamación: Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención.

Viscosidad: Debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y en el inyector. Además, le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por la otra parte también se limita la viscosidad máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores, y en las características del sistema de inyección.

Densidad: Da idea del contenido en energía del combustible. Mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor.

Cenizas sulfatadas: Los materiales que forman cenizas se pueden presentar de tres formas: sólidos abrasivos, jabones metálicos solubles y catalizadores no eliminados en el proceso. Tanto los primeros como los terceros favorecen al desgaste del inyector, bomba de inyección, pistón y anillos, además de contribuir a la formación de depósitos en el motor. Los

jabones metálicos solubles tienen un efecto menor en el desgaste pero pueden afectar más a la colmatación de filtros y depósitos en el motor.

Azufre: Contribuye al desgaste del motor y a la aparición de depósitos que varían considerablemente en la importancia dependiendo en gran medida de las condiciones de funcionamiento del motor. También pueden afectar al funcionamiento del sistema de control de emisiones y a límites medioambientales.

Corrosión a la lámina de cobre: Mediante la comprobación del desgaste de una lámina de cobre se puede observar si existen en el sistema compuestos corrosivos y/o presencia de ácidos que puedan atacar al cobre o a aleaciones de cobre como el bronce que forman parte del sistema de combustible.

Número de Cetano: Es una medida de la calidad de ignición de un combustible e influye en las emisiones de humo y en la calidad de la combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño del motor, de las variaciones de la carga y velocidad y condiciones de arranque y atmosféricas. Un bajo NC conlleva a ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de las emisiones.

Otras propiedades del biodiesel referidas por Ciria (2006) ^[6], son las siguientes:

- Índice de yodo: Indica la tendencia a la oxidación pues da idea del grado de insaturaciones que poseen sus ésteres.
- Punto de nube: Indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos del combustible. Es una medida muy importante a

tener en cuenta cuando se usa el motor en climas fríos. El valor ser definido por el usuario, ya que depende del clima en el cual el motor se utilice.

- Agua y Sedimentos: El agua se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento. La presencia de agua y sólidos de desgaste normalmente pueden colmatar filtros y darle el combustible unas propiedades de lubricidad menores. El biodiesel puede absorber hasta 40 veces más agua que el diesel.
- Residuo carbonoso: Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Se aproxima a la tendencia del motor a formar depósitos.
- Destilación: Indica la temperatura máxima a la que se debe evaporar el combustible a unas condiciones de presión y temperaturas dadas. Según la norma ASTM D1160, a la temperatura de 360°C tiene que estar el 90% destilado.
- Número ácido, TAN: Determina el nivel de ácidos grasos, ó generados por degradación, que se presentan en el combustible. Si posee un alto grado de acidez se formaran una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema.

De igual modo, cabe referir propiedades como las que aparecen a continuación, por parte de Ciria (2006) ^[6]:

- Contenido en metales (Na, K, P, y ácidos grasos libres: Contribuyen al aumento del residuo carbonoso de manera notable y también a las cenizas, generando residuos inorgánicos parcialmente quemados. Además, también se pueden formar jabones que colmatan los filtros de combustible.

- **Lubricidad:** Es la cualidad de un líquido para proporcionar una lubricación adecuada para prevenir el desgaste entre dos superficies en movimiento. Los combustibles con un contenido bajo en azufre o baja viscosidad tienden a tener una lubricidad menor.
- **Glicerina libre:** Determina el nivel de glicerina no enlazada. Su presencia normalmente se debe a una mala purificación del biodiesel. Niveles altos pueden causar problemas de depósitos en el inyector, así como colmatación de filtros. Pueden dañar los sistemas de inyección debido a los compuestos inorgánicos y jabones que se acumulan en la glicerina. Si la cantidad de glicerina es superior al 0.5% esta puede afectar al contenido del residuo carbonoso.
- **Glicerina total:** Determina el nivel de glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible. Niveles bajos significan que se ha producido un alto grado de conversión en el aceite o grasa, y se han formado gran cantidad de monoésteres. Niveles altos de mono, di y triglicéridos pueden provocar la colmatación de los filtros, depósitos carbonosos en los inyectores y pueden afectar adversamente a las propiedades a bajas temperaturas. Esto es debido a que al poseer temperaturas de ebullición superiores provocan que la combustión sea bastante peor. Además, aumentan la viscosidad del biodiesel.
- **Contenido en alcohol:** Puede provocar problemas de lubricidad. Desde el punto de vista de la seguridad el punto de inflamación disminuye. Por otro lado, junto a la presencia de alcohol puede venir asociada glicerina disuelta en este con los consiguientes problemas antes comentados.
- **Estabilidad a la oxidación:** Se determina la vida de almacenamiento y la degradación potencial de un combustible durante su almacenamiento. La oxidación de un combustible suele venir acompañada de la formación de gomas solubles e insolubles que pueden actuar de la siguiente manera:

- Gomas insoluble. Problemas de colmatación de filtros.
- Gomas solubles. Formación de depósitos en la punta del inyector y fallos en las boquillas de los inyectores.

Además, dicha estabilidad a la oxidación se puede ver alterada por los diversos contaminantes que pueden estar presentes en el biodiesel.

Hay que tener en cuenta que el biodiesel se puede usar puro o mezclado con el gasoil. Esto hará que las propiedades que sean más diferentes entre ellos se irán igualando o diferenciando en función del porcentaje utilizado. Cuando se usa puro se denomina B100 y cuando participa en una mezcla, por ejemplo, 20/80 con gasoil se denomina B20.

2.3 Lubricante.

La Enciclopedia de la Mecánica Ingeniería y Técnica ^[7] propone que un lubricante es cualquier sustancia que se utilice para reducir el rozamiento y el desgaste, y proporcionar un funcionamiento suave y una duración satisfactoria a los componentes o elementos de máquinas. Casi todos los lubricantes son líquidos (como aceites minerales, los ésteres sintéticos y los líquidos o fluidos silicónicos y el agua), pero pueden ser sólidos (como el politetrafloruroetileno), usados en cojinetes secos, o bien gases (como el aire), utilizados en cojinetes de gas. Si se ha de proporcionar a los elementos de una máquina una duración satisfactoria, es necesario comprender las interacciones químicas y físicas entre un lubricante y superficies friccionantes o en contacto.

2.3.1 Métodos de ensayos que rigen para el análisis en el laboratorio ^[8]

A continuación se presentan los métodos de ensayo utilizados para evaluar el grado de deterioro del aceite lubricante usado, según diferentes normas nacionales e internacionales.

Las pruebas de laboratorio, constituyen las herramientas principales para determinar si el aceite aún conserva sus propiedades lubricantes y/o si está contaminado. Ello permite detectar fallas en los equipos y alargar así tanto la vida de la maquinaria como la del aceite lubricante. Para lograr este objetivo, las pruebas se han clasificado en dos grupos: pruebas básicas y pruebas complementarias.

Métodos y ensayos para análisis de aceites lubricantes por parte de PDVSA, son mostrados en la tabla 2.1.

2.3.2 Análisis de la muestra de lubricante en el laboratorio ^[8]

- *Viscosidad*: es probablemente a propiedad física más importante de un aceite lubricante. Se define como la resistencia que ofrece un fluido a desplazarse libremente al aplicársele una fuerza, a una temperatura dada. Por lo general la evaluación de la viscosidad es realizada considerando la viscosidad del aceite nuevo, el cual se asume como punto de comparación para el análisis del aceite usado. Cuando se desconoce la viscosidad del aceite, se debe utilizar como referencia a la viscosidad recomendada por el fabricante del equipo. Para evaluar numéricamente la viscosidad de un aceite lubricante, existen una serie de ensayos, los

cuales varían en mayor a menor grado, pero se basan en el mismo principio.

Tabla 2.1. Métodos de ensayo de análisis de lubricantes ^[4]

	ASTM	COVENIN	PDVSA	IP
Viscosidad	D-445	424	0080	
Acidez	D-664	2295		177
Espuma	D-892	1389		
Contaminación	D-95	427	1012	74
Punto de inflamación	D-322			23
Insolubles	D-893	1394		15
Punto de fluidez	D-97	877	0090	276
Alcalinidad	D-2896		0234	
Metales	Análisis espectrográfico			

- *Acidez*: El método a usar consiste en una titulación potenciométrica. Se refiere a la cantidad de base expresada en miligramos de hidróxido de potasio (KOH), requerida para neutralizar todos los constituyentes ácidos presentes en un gramo de muestra. Este método se conoce con el nombre de número ácido total o T.A.N. Para escoger el método de ensayo a ser usado, hay que referirse por los métodos de ensayos para el análisis en el laboratorio, mencionados anteriormente.
- *Alcalinidad*: permite determinar la reserva alcalina expresada en mg de KOH/gr de aceite, que posee el aceite para neutralizar los ácidos formados. Esta prueba es más aplicada a motores diesel, debido a que el combustible utilizado contiene azufre, el cual es el principal generador de ácido en la cámara de combustión. Este método se conoce con el nombre de número básico total o T.B.N.

- *Punto de fluidez*: es la temperatura mínima que requiere un aceite para poder circular sin dificultad. Esta propiedad del aceite es muy importante en los equipos de refrigeración, ya que las partículas de aceite que llegan al evaporador mezcladas con el refrigerante, no se solidifiquen debido a las bajas temperaturas allí existentes. Estos sólidos pueden impedir el flujo de calor y también obstruir o trabar la válvula de expansión. El punto de fluidez varía con el refrigerante usado y con la concentración de la mezcla.
- *Espuma*: esta prueba se hace muy esporádicamente y se realiza cuando se observan burbujas de aire en la superficie del aceite, lo cual puede indicar que el mismo ha perdido sus propiedades antiespumantes, originando como consecuencia, la disminución de la capacidad del lubricante del aceite y de las características de enfriamiento. Es un inconveniente que se presentan generalmente por causas mecánicas, debido a condiciones operacionales, las cuales tienden a producir turbulencias del aceite en presencia del aire

Mediante lo expuesto por Cabrices (2006) ^[4], las pruebas complementarias son las siguientes:

- *Contaminación con agua*: el agua es indeseable en el aceite lubricante debido a su gran facilidad de provocar la formación de herrumbre en las partes ferrosas de los equipos lubricados. Su efecto sobre el desempeño del aceite resulta igualmente perjudicial, ya que se forman emulsiones que junto con las suciedades producen depósitos lodosos que interfieren con la distribución correcta y principalmente con la lubricación. Hay dos tipos de pruebas que se le hacen al aceite cuando se sospecha la

presencia de agua que son: crepitación y contenido de agua; debiendo hacerse primeramente la de crepitación y si el resultado indica presencia anormal de agua, deberá realizarse la prueba de contenido de agua. Crepitación: indica solamente si el aceite contiene agua. Se lleva a cabo colocando una pequeña cantidad de muestra en una plancha caliente. Si el aceite contiene agua se captará fácilmente la presencia de ésta, debido al típico sonido que produce la muestra calentada. Por este método son detectados los volúmenes de agua mayores al 0,1%. Contenido de agua: con esta prueba es posible determinar el porcentaje de agua presente en un volumen dado de muestra. Para escoger el método de ensayo a ser usado, hay que regirse por los métodos de ensayos para el análisis en el laboratorio, mencionados anteriormente.

- *Contaminación con combustible*: la presencia del combustible en el aceite lubricante trae como consecuencia la disminución apreciable de la viscosidad del mismo y la disminución del punto de inflamación, quitándole consistencia a la película lubricante, propiciando así un mayor desgaste en los componentes mecánicos del equipo. Hay dos tipos de pruebas que pueden usarse cuando se sospeche la presencia de combustible, estas son: el punto de inflamación y la dilución por combustible. Primero se realiza la prueba del punto de inflamación. Si la temperatura resultante es menor a 180°C, debe realizarse la dilución por combustible. Punto de inflamación: se define como la temperatura mínima a la cual un líquido produce los primeros vapores inflamables. Esta prueba es de vital importancia en los análisis de aceites usados, ya que pone en evidencia el grado de contaminación con combustible. El punto de inflamación de un aceite no es un índice de su volatilidad total, sino de las fracciones más livianas contenidas en el mismo. El método utilizado

para la determinación del punto de inflamación se realiza en el equipo conocido como “copa abierta de Cleveland”. Para escoger el método de ensayo a ser usado, hay que regirse por los métodos de ensayos para el análisis en el laboratorio, mencionados anteriormente.

2.4. Técnicas de análisis de aceite y su importancia

Las técnicas de análisis de aceite se pueden clasificar según su finalidad en:

- Técnicas para identificar y cuantificar el contenido de partículas de desgaste en muestras de aceite usado.
- Técnicas para cuantificar los elementos contaminantes presentes en el aceite.
- Técnicas para determinar la degradación del aceite.

Con las dos primeras técnicas se determina el estado del motor, por lo que se utilizan para diagnosticar sobre su desgaste y el funcionamiento de los sistemas que lo componen. Con la segunda y tercera técnica se determina el estado del aceite. En la Fig. 2.4 se observa la clasificación de las técnicas de análisis de aceite usados actualmente. Para el desarrollo de este trabajo de grado, se utilizó la técnica de espectrometría en emisión atómica.

- Análisis de lubricante por espectrometría de emisión atómica

Esta técnica, se basa en la excitación de las partículas metálicas encontradas en una muestra de aceite por medio de un arco eléctrico, lo que ocasiona que cada partícula metálica emita una longitud de onda

característica. Dicha longitud de onda es captada por una rejilla de difracción óptica utilizada para separar las longitudes de ondas discretas y de donde surge una serie de rayos con una separación angular que es función de la longitud de onda de la radiación emergente, donde un dispositivo electrónico permite medir la radiación emitida y que es función de la concentración de las partículas metálicas existentes.

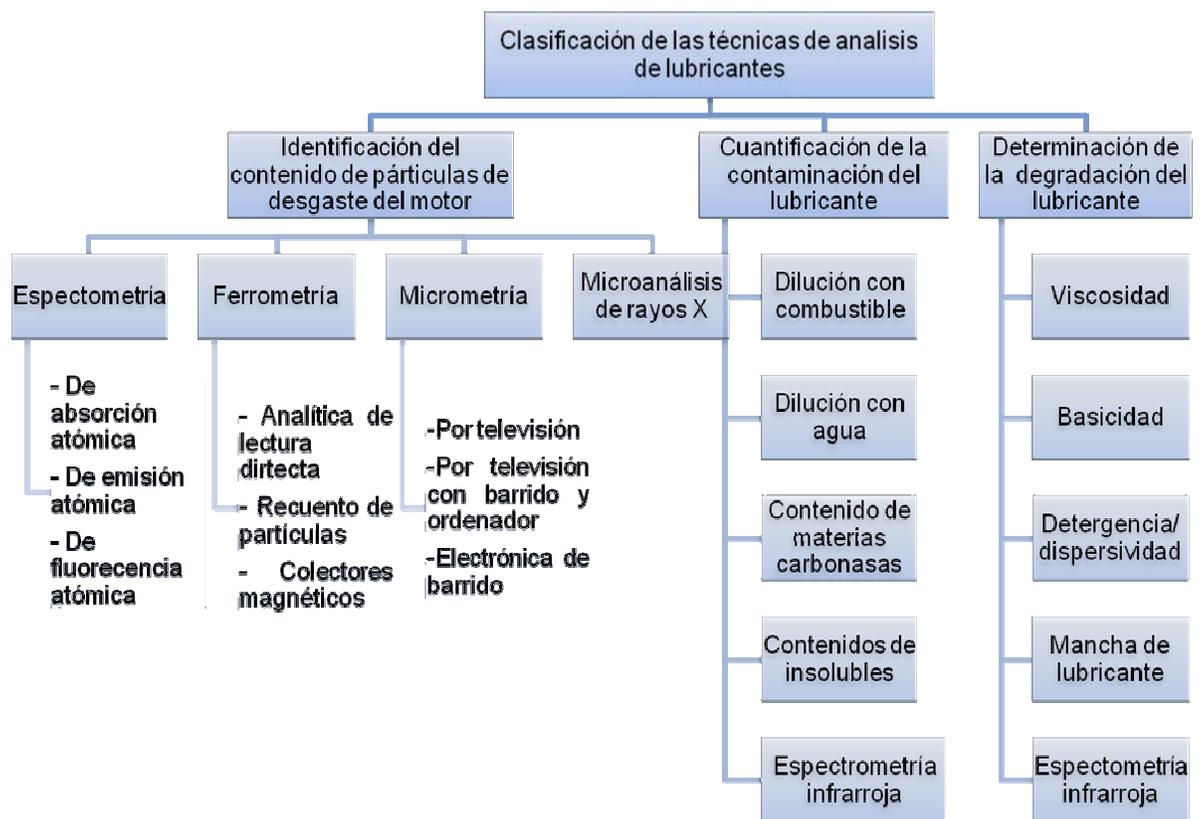


Figura 2.4. Clasificación de las técnicas de análisis de aceite [15].

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL TRABAJO

En este trabajo plantea la representación del comportamiento de los aceites lubricantes ante diferentes grados de dilución con biodiesel. A continuación se presenta el desarrollo del mismo.

3.1 Elección de las muestras de biodiesel y lubricante para el estudio que cumplan con las normas internacionales.

Para la elaboración de estas muestras, se usó biodiesel (Biodiesel B-100), proveniente desde la República Argentina, elaborado por la empresa UNITEC BIO S.A, en la Provincia de Santa Fe, en la localidad de Punta Quebrada, con certificación internacional y las siguientes características:

Lote numero: 1103145B.

Código de muestra: 004059.

Precinto ID muestra: 004959.

Fecha de muestreo: 13 marzo del año 2011.

Nº de certificado: 1103415B000126.

Obteniendo un análisis de calidad por la empresa como producto conforme.

También, se utilizó aceite lubricante, para motor diesel con especificaciones 15w40 marca Valvoline, tipo VALVODIESEL API CI-4 "ALL-FLEET SUPER MOTOR OIL"

3.2 Identificación de las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y los lubricantes usados en motores diesel.

Para el reporte de las propiedades fisicoquímicas de los elementos utilizados (biodiesel y aceite lubricante), se les exigió a los proveedores de cada producto la hoja de especificaciones técnicas que contienen las propiedades fisicoquímicas de los mismos; en el desarrollo de los análisis de laboratorio también se obtuvieron estos análisis a medida de comparación estas propiedades, en simultaneo con la medición de las muestras a desarrollar. Las propiedades de estudio fueron las siguientes:

- Viscosidad.
- Índice de viscosidad.
- Gravedad API.
- Índice de basicidad (TBN).
- Índice de acidez (TAN).
- Corrosión.
- Punto de inflamación.
- Punto de escurrimiento.
- Desgaste.
- Oxidación.
- Glicoles.
- Nitración.
- Porcentaje de agua.
- Sulfatación.

3.3 Determinación del comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del lubricante ante diferentes grados de contaminaciones con biodiesel, a través de análisis de laboratorio.

Se prepararon tres (3) muestras a diferentes concentraciones masa-masa de biodiesel y aceite lubricantes:

Muestra A: 5% Biodiesel – 95% Aceite Lubricante.

Muestra B: 10% Biodiesel – 90% Aceite Lubricante.

Muestra C: 15% Biodiesel – 85% Aceite Lubricante.

Los cálculos de preparación se muestran en la sección correspondiente a la muestra de cálculo.

3.3.1 Procedimiento experimental.

3.3.1.1 Preparación de las muestras:

Las muestras de aceite lubricante con biodiesel fueron preparadas siguiendo procedimientos de mezclado establecidos para garantizar las concentraciones masa – masa en las composiciones, utilizando matraces aforados, por su bajo error experimental, luego de su preparación se cambiaron a envases de plástico para su almacenaje y más segura manipulación en el laboratorio, estos fueron recipientes limpios de plástico polietileno, sin sellos de goma en la tapa y de un litro de capacidad, curados previamente. Una vez preparadas las mezclas, se procedió a los análisis correspondientes en el laboratorio de Sistema Dispersos y Ambiente y en el CTYM de Ingeniería Mecánica; para la comprobación de los datos

experimentales se uso la metodología estadística denominada diseño completamente aleatorizado.

Para garantizar y verificar el desempeño de los aceites dentro de las pruebas es necesario analizar las propiedades particulares de los mismos, dicha evaluación incluye el estudio de sus características fisicoquímica, basándolas en ensayos y metodologías reconocidas internacionalmente y desarrolladas por distintos organismos como la Sociedad americana para Ensayos y Materiales (ASTM), Normas Industriales Alemanas (DIN). Esta investigación siguió rigurosamente parámetros establecidos netamente en los patrones internacionales.

Equipo utilizado para preparar las muestras:

- Matraz aforado

Recipiente graduado de vidrio con 1000ml de capacidad, utilizado para preparar las muestras en estudio

3.3.1.2 Determinación de la viscosidad

Se obtuvo según la norma ASTM D-445, se introduce la muestra dentro de un instrumento conocido como viscosímetro del tipo tubo capilar, que a su vez está dentro de un baño. El baño es encendido, se espera a que éste alcance la temperatura deseada, se procede a accionar una bomba manual de succión que hace que el líquido suba por las paredes del capilar. Una vez que la muestra fluye por el capilar y sobrepasa la primera línea del mismo, la bomba se desactiva y el líquido comienza a descender. Se midió con un

cronometro el tiempo que tarda el liquido en pasar por las dos líneas o marcas que tiene el capilar contando ese periodo transcurrido con un cronometro, luego se procede a su cálculo.

Este procedimiento se realizó para 2 temperaturas, 40°C y 100°C, reportando los resultados para cada muestra.

Equipos utilizados:

- Baño de viscosidad marca PRECISION.

Consiste en un recipiente que contiene un fluido que se calienta por medio de una resistencia eléctrica, el mismo mantiene la temperatura uniforme según el análisis requerido.

- Termómetro.

Mide la temperatura del baño de viscosidad, se utilizo un termómetro calibrado de mercurio liquido en vidrio con una precesión de $\pm 0.05^\circ\text{C}$

- Capilar.

Se utilizó un capilar de 400 B con una constante de 1.2. Este es un viscosímetro calibrado del tipo tubo capilar.

- Cronómetro.

Se utilizó un cronómetro con una precisión de 0.1 segundos, marca casio.

3.3.1.3 Determinación del punto de fluidez

Siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D-97, se determinó el comportamiento de la muestra a bajas temperaturas. Se colocaron las muestras en recipientes de prueba enchaquetados, de vidrio, la boca del recipiente se sella con un corcho a través del cual se coloca un termómetro para indicar la temperatura de las mismas. Las muestras fueron enfriadas con hielo seco, luego sacando el recipiente de prueba en intervalos de 1 minuto, inclinándolo 45° por no más de 3 segundos, hasta que dejen de fluir.

Equipos utilizados

- Recipiente de prueba.

Vasos de vidrio, utilizados para introducir las muestras dentro del equipo para enfriar las muestras.

- Termómetro.

Mide la temperatura de las muestras en el recipiente de prueba, se utilizó un termómetro calibrado de líquido en vidrio con una precisión de $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$, con capacidad de leer temperaturas hasta -50°C .

- Tapón de corcho perforado.

Se utilizaron para tapar el recipiente de vidrio y, a su vez, calzar el termómetro para la medición de la temperatura.

- Equipo de baño frío.

Se utilizó para introducir las muestras y lograr el punto de fluidez.

3.3.1.4 Determinación del punto de inflamación

Las muestras son colocadas en una cápsula de bronce, según lo indica la norma ASTM-92, con precisión que descansa sobre una lámina de metal, debajo de ésta se coloca una fuente de calor y un termómetro con el bulbo en la cápsula, éste indicará la temperatura de la muestra, se enciende el pequeño soplete de gas para probar la inflamabilidad de la mezcla aire vapor, a cada múltiplo de 5° de aumento de temperatura, la llama del soplete es pasada sobre la superficie de la cápsula. Esta prueba termina cuando el soplete produce una chispa en la porción vaporizada de la muestra.

Equipos utilizados:

- Termómetro

Mide la temperatura de la muestra en la cápsula de bronce, se utilizó un termómetro calibrado de mercurio líquido en vidrio con una precisión de $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$.

- Cápsula o copa de bronce.

Recipiente utilizado para calentar la muestra.

- Equipo de Copa abierta

Este dispositivo fue utilizado para calentar la muestra de aceite en la cápsula de bronce, mediante una resistencia eléctrica, también posee un pequeño soplete instalada para provocar la chispa proveniente de los vapores de la muestra.

3.3.1.5 Determinación de la gravedad API

Se agregó un volumen de muestra dentro de un cilindro graduado y se introdujo el hidrómetro, éste comienza a descender dentro del líquido y se espera a que alcance el nivel estacionario, una vez alcanzado este nivel se lee la gravedad API en el instrumento, siguiendo lo establecido en la norma ASTM D-287

Equipos utilizados:

- Cilindro graduado.

Utilizado para verter la muestra a analizar, de vidrio y con una capacidad de 1000ml.

- Hidrómetro Specific Gravitic Light.

Equipo de vidrio calibrado para medir la gravedad API de una muestra introducida en un cilindro con escala graduada de 26 a 31 °API en este caso, con termómetro de mercurio incorporado con apreciación de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$

3.3.1.6 Determinación de la gravedad específica

Una vez determinada la gravedad API, como se indicó anteriormente se calcula la gravedad específica corrigiendo los valores de gravedad API a 60°F. Según lo establecido en la norma ASTM D-1298.

Equipos utilizados:

- Cilindro graduado

Utilizado para verter la muestra a analizar, de vidrio y con una capacidad de 1000ml.

- Hidrómetro Specific Gravitic Light

Equipo de vidrio calibrado para medir la gravedad API de una muestra introducida en un cilindro con escala graduada de 26 a 31 °API en este caso, con termómetro de mercurio incorporado con apreciación de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

- Tablas de la gravedad API a 60°F

Tablas utilizadas para corregir el valor de la gravedad API a 60°F, para determinar la gravedad específica.

3.3.1.7 Determinación del índice de viscosidad

Cumpliendo con la norma ASTM D-2270, con los valores reportados de las viscosidades a 40°C y 100°C, valiéndonos por las gráficas y ecuación matemática dada en la norma citada, se calculó el índice de viscosidad.

Equipos usados:

- Baño de viscosidad marca PRECISION

Consiste en un recipiente que contiene un fluido que se calienta por medio de una resistencia eléctrica, el mismo mantiene la temperatura uniforme según el análisis requerido.

- Termómetro

Mide la temperatura del baño de viscosidad, se utilizo un termómetro calibrado de mercurio liquido en vidrio con una precesión de $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$

- Capilar

Se utilizó un capilar de 400 B con una constante de 1.2. Este es un viscosímetro calibrado del tipo tubo capilar.

- Cronómetro

Se utilizo un cronometro con una precisión de 0.1 segundos, marca casio.

- Gráfico y ecuación

Suministrado por la norma internacional ASTM-2270, para el cálculo en cuestión.

3.3.1.8 Determinación de la corrosión a la lámina de cobre.

Este procedimiento se utilizó para conocer la acción corrosiva sobre el cobre, según la norma ASTM-130. El ensayo consiste en introducir una tira de cobre pulido en una determinada cantidad de muestra y calentar a la temperatura y durante el tiempo especificado para el producto que se ensaya; al final de este período de tiempo, la tira de cobre se saca, se lava y se compara con las tiras patrón de ASTM.

Equipos empleados:

- Baño térmico

Se usa para calentar el aceite con la tira de cobre por 3 horas a 122°F

- Tabla comparativa de corrosión al cobre ASTM

Se usa como patrón para comparar y clasificar visualmente la tira de cobre expuesta al tratamiento indicado por la norma ASTM 130

3.3.1.9 Determinación del desgaste

Esta prueba se realizó con la finalidad de determinar la resistencia al desgaste del aceite lubricante en estudio. A condiciones normadas. Las muestras de aceite se incorporan al equipo de 4 bolas, se hacen girar los pares tribológicos a 1800 rpm por 1 hora a 60 ° C, luego se reporta el desgaste de los cuerpos esféricos en milímetros de desgaste.

Equipo empleado:

- Equipo de 4 bolas

Equipo para medición de protección al desgaste del aceite lubricante, mediante rodamiento de piezas esféricas o bolas.

3.3.1.10 Determinación del índice de basicidad (TBN)

Este ensayo se utilizó para determinar el índice de basicidad, ó TBN (reserva alcalina), mediante un método normalizado ASTM D- 2896 en aceites de motor.

Este parámetro es muy importante en aceites de motor, debido a que los gases de la combustión son muy ácidos y mediante esta reserva se neutralizan.

Equipo utilizado:

- Valorador automático (Titroprocesador) TBN Marca: Metrohm Modelo: 2896.

3.3.1.11 Determinación del índice de acidez (TAN)

Esta práctica se utilizo para determinar el índice de acidez, ó TAN mediante un método normalizado ASTM D-664. En los lubricantes nuevos como en los usados aparecen constituyentes ácidos en forma de aditivos o

como resultado de la oxidación del lubricante durante el servicio, que se determinan mediante estas técnicas analíticas.

Equipo empleado:

- Valorador automático (Titroprocesador) TAN Marca: Metrohm Modelo: 664.

3.3.1.12 Determinación del porcentaje de agua, oxidación, nitración, sulfatación y glicol.

- Por métodos de análisis infrarrojos se determinaron las siguientes propiedades:

Porcentaje de agua (%)

Oxidación (A/cm)

Nitración (%)

Sulfatación (%)

Glicol (%)

Hollín (A/cm)

Gasolina (%)

Estas pruebas corresponden a ensayos especiales, se conto con el apoyo del laboratorio central STAVCA de Venoco, bajo el código de análisis NVE 751.

3.4 Datos obtenidos

3.4.1 Análisis de las muestras en el laboratorio.

Para el análisis del aceite lubricante a diferentes concentraciones de biodiesel, se realizaron 3 mediciones para cada propiedad, en el caso de las mediciones hechas por nosotros, en las instalaciones de la Universidad de Oriente núcleo Anzoátegui, en los laboratorios provistos para cada caso correspondiente. (Laboratorio de Sistemas dispersos y ambiente en el Departamento de Ingeniería Química y Laboratorio de Lubricantes en el Departamento de Ingeniería Mecánica). Cabe destacar que algunas propiedades fueron determinadas fuera del campus Universitario en medida de apoyo a nuestra investigación, las mismas son detalladas en esta sección.

Tabla 3.1 Datos obtenidos en la determinación de la viscosidad a 40°C, según método ASTM D-445

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Viscosidad a 40°C (cts)</i>	<i>Tiempo(seg)</i>
Aceite Original	1	124	103,3
	2	126	105
	3	125	104,16
A	1	99,06	82,53
	2	97,89	81,57
	3	97,23	81,02
B	1	78,89	65,74
	2	77,05	64,20
	3	77,89	64,65
C	1	65,08	54,23
	2	64,76	53,96
	3	64,29	53,57

Tabla 3.2 Datos obtenidos en la determinación de la viscosidad a 100°C, según método ASTM D-445

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Viscosidad a 100°C (cts)</i>	<i>Tiempo(seg)</i>
Aceite Original	1	15,4	12,83
	2	15,2	12,66
	3	15,9	13,25
A	1	13,55	11,29
	2	14,02	11,68
	3	13,77	11,47
B	1	11,98	9,98
	2	12,15	10,12
	3	11,99	9,99
C	1	10,50	8,75
	2	10,98	9,15
	3	10,92	9,10

Para la determinación de la viscosidad a 40°C y a 100°C, se trabajó a una temperatura ambiente (en el laboratorio) de 83°F o 28,33°C, con viscosímetros de constante 1,2 cts/s.

Tabla 3.3 Datos obtenidos en la determinación del Índice de Viscosidad, según norma ASTM D-2270

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Índice de Viscosidad</i>
Aceite Original	1	130
A	2	142
B	3	150
C	4	158

Para determinar el índice de viscosidad se promediaron las viscosidades obtenidas a 40°C y 100°C.

Tabla 3.4 Datos obtenidos en la determinación del Punto de Fluidez, según norma ASTM D-97

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Punto de Fluidez (°C)</i>
Aceite Original	1	-21
	2	-20
	3	-21
A	1	-22
	2	-22
	3	-22
B	1	-25
	2	-24
	3	-24
C	1	-26
	2	-27
	3	-26

Tabla 3.5 Datos obtenidos en la determinación del punto de inflamación, según norma ASTM D-92

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Punto de Inflamación (°C)</i>
Aceite Original	1	223
	2	221
	3	221
A	1	200
	2	204
	3	202
B	1	179
	2	180
	3	180
C	1	173
	2	170
	3	171

Tabla 3.6 Datos obtenidos en la determinación de la gravedad API, siguiendo norma ASTM D-287

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Gravedad API (°API)</i>
Aceite Original	1	29,6
	2	29,6
	3	29,6
A	1	29,6
	2	29,6
	3	29,6
B	1	29,6
	2	29,6
	3	29,6
C	1	29,6
	2	29,6
	3	29,6

Cabe destacar que la temperatura de trabajo en el laboratorio fue de 83°F o 28,33°C

Tabla 3.7 Datos obtenidos en la determinación de la gravedad específica, según norma ASTM D-1298

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Gravedad específica</i>
Aceite Original	1	0,878
	2	0,878
	3	0,878
A	1	0,878
	2	0,878
	3	0,878
B	1	0,878
	2	0,878
	3	0,878
C	1	0,878
	2	0,878
	3	0,878

Tabla 3.8 Datos obtenidos en la determinación de corrosión a la lámina de cobre, según norma ASTM D-130

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Corrosión</i>
Aceite Original	1	1 A
A	2	1 A
B	3	1 A
C	4	1 A

Tabla 3.9 Datos obtenidos en la determinación de desgaste, según norma ASTM D-4172

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Desgaste (mm)</i>
Aceite Original	1	0,36
A	2	0,92
B	3	0,75
C	4	0,78

Esta prueba se realizó con el apoyo de Venoco en Laboratorio Central Industrias Venoco C.A. Estado Carabobo.

Tabla 3.10 Datos obtenidos en la determinación del índice de basicidad, según norma ASTM D-2986.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>TBN, (mgKOH/g)</i>
Aceite Original	1	11,38
A	2	0,94
B	3	1,02
C	4	0,98

Esta prueba se realizó con el apoyo de Venoco en Laboratorio Central Industrias Venoco C.A. Estado Carabobo.

Tabla 3.11 Datos obtenidos en la determinación del Índice de acidez, según norma ASTM D-664.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>TAN, (mgKOH/g)</i>
Aceite Original	1	2.980
A	2	2,61
B	3	2,368
C	4	2,31

Esta prueba se realizó con el apoyo de Venoco en Laboratorio Central Industrias Venoco C.A. Estado Carabobo.

Tabla 3.12 Datos obtenidos en la determinación de porcentaje de agua por método infrarrojo, según norma venoco 751.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Agua (%)</i>
A	2	0
B	3	0,07
C	4	0,09

Tabla 3.13 Datos obtenidos en la medición de oxidación por método infrarrojo, según norma venoco 751.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Oxidación (A/cm)</i>
A	1	5,81
B	2	11,65
C	3	16,70

Tabla 3.14 Datos obtenidos en la medición de Nitración por método infrarrojo, según norma venoco 751.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Nitración (A/cm)</i>
A	1	0
B	2	0
C	3	0

Tabla 3.15 Datos obtenidos en la medición de sulfatación por método infrarrojo, según norma venoco 751.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Sulfatación (A/cm)</i>
A	1	0
B	2	0
C	3	0

Tabla 3.16 Datos obtenidos en la determinación del porcentaje de glicol por método infrarrojo, según norma venoco 751.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Glicol (%)</i>
A	1	0
B	2	0
C	3	0

Tabla 3.17 Datos obtenidos en la medición de hollín por método infrarrojo, según norma venoco 751.

<i>Muestra</i>	<i>Prueba</i>	<i>Hollín (A/cm)</i>
A	1	0,16
B	2	0,28
C	3	0,47

3.5 Muestra de cálculo

3.5.1 Preparación de las muestras

La primera muestra preparada fue 5% m/m (muestra A), procediendo de la siguiente manera:

Para un volumen equivalente a 1000 ml (1 litro).

Se sabe que:

$$\rho = \frac{i}{\sum \frac{w_i}{\rho_i}} \quad \text{De donde:}$$

E.c 3.1

ρ = *Densidad de la muestra* (g/ml)

w_i = *Porcentaje en peso de los componente de la muestra*

ρ_i = *Densidad de los componentes de la muestra* (g/ml)

También: $\rho = \frac{m}{v}$

Ec.3.2

De donde: m = *masa (gramos)*, v = *volumen*(mililitros)

Entonces para la preparación de la muestra de 5% Biodiesel (usaremos el numero 1 para referirnos a su presencia en los cálculos) y 95% aceite lubricante (se usa el número 2 para referir su presencia en los cálculos), muestra I, para obtener un litro los cálculos se argumentaron de la siguiente manera.

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{W_i}{\rho_i}} \quad \text{De donde:} \quad \rho = \frac{1}{\left(\frac{W_1}{\rho_1}\right) + \left(\frac{W_2}{\rho_2}\right)}$$

$$\rho = \frac{1}{\left(\frac{0.5}{0.8858}\right) + \left(\frac{0.95}{0.8770}\right)}$$

$$\rho = 0.606 \text{ g/ml}$$

Despejando la masa (m) de la ecuación 3.2 y sustituyendo los valores se obtienen los gramos totales de muestra 1, calculado de la siguiente manera:

$$m = 1000 \text{ ml} \times 0.8774 \text{ g/ml}$$

$$m = 877.41 \text{ g}$$

Si se multiplica la masa de cada componente de la muestra por los porcentajes en peso obtenemos los gramos de cada componente en la misma.

Para el biodiesel:

$$m_1 = 877.41 \text{ g} \times 0.05$$

$$m_1 = 43.87 \text{ g}$$

Para el aceite lubricante

$$m_2 = 877.41 \text{ g} \times 0.95$$

$$m_2 = 833.53 \text{ g}$$

Con ayuda de las densidades de cada componente y las masas conseguidas anteriormente, empleando la ecuación 3.2, se despeja y se obtienen los mililitros que se deben agregar para preparar el litro de muestra I.

Para calcular los mililitros de biodiesel a medir y agregar

$$v1 = 43.87g \div 0.8853g/ml$$

$$v1 = 49.55ml$$

De la misma manera para el aceite lubricante

$$v2 = 833.53g \div 0.8770g/ml$$

$$v2 = 950.43ml$$

Este procedimiento se repitió para la preparación de las muestras II y III, se presenta a continuación el contenido en mililitros de biodiesel y aceite lubricante utilizado para su elaboración, luego de haber hecho los cálculos respectivos para su cuidadosa obtención.

	Biodiesel (ml)	Aceite lubricante (ml)
Muestra B (10% m/m)	99.16	900.84
Muestra C (15% m/m)	148.80	851.22

3.5.2 Calculo de la viscosidad

Fue calculada por:

$$v = t \times C$$

Ec.3.3

Donde:

V= Viscosidad cinemática (cts).

t= Tiempo de circulación del fluido por el viscosímetro (s)

C= constante de calibración del viscosímetro = 1.2 cts/s

De la tabla se toma el valor correspondiente al tiempo de circulación en la muestra 1 y se sustituye en la ecuación 3.3, se tiene:

$$v = 81,52 \text{ s} \times 1,2 \frac{\text{cts}}{\text{s}}$$

$$v = 97,83 \text{ cts}$$

Todos los cálculos de viscosidad fueron realizados de la misma manera los valores obtenidos se muestran la tabla 3.1.

3.5.3 Gravedad específica.

Se calculó por:

$$G.E = \frac{141,5}{\text{°API} + 131,5}$$

Ec.3.4

Donde:

G.E= Gravedad específica

°API= Gravedad API

Tomando el valor correspondiente a la gravedad API de la muestra I en la tabla, y sustituyendo en la ecuación 3.4 tenemos que:

$$G.E = \frac{141,5}{29,6 + 131,5}$$

$$G.E = 0,878$$

Todos los cálculos de gravedad específica se realizaron de la misma manera y los valores se reportan en la tabla 3.6.

3.5.4 Índice de viscosidad.

Se cálculo de la siguiente manera, según la norma D-2270:

Primeramente, se promedió los valores de viscosidad para 40° C y 100° C , en cada una de las muestras a las diferentes concentraciones de aceite lubricante y biodiesel.

Los valores promedios obtenidos fueron los siguientes:

	5%	10%	15%
Viscosidad a 40°C	98,06 cts	77,84 cts	64,71 cts
Viscosidad a 100°C	13,78 cts	12,04 cts	10,80 cts

Se calculó el índice de viscosidad según la ecuación:

$$i.v = \frac{L - U}{L - H} \times 100$$

E.c 3.5

i.v= 142, para la muestra de A lo demás valores serán reportados en la tabla 3.3

3.6 Diseño de experimentos.

Para la realización de este trabajo, se empleo la metodología estadística de diseño completamente aleatorizado. Este diseño consiste en la asignación de los tratamientos en forma completamente aleatoria a las unidades experimentales. Debido a su aleatorización irrestricta, es permite que se utilicen unidades experimentales de lo más homogéneas posibles, en este caso, las muestras preparadas de aceite lubricante y biodiesel a diferentes concentraciones, el mismo es apropiado para experimentos de laboratorio.

En este diseño experimental las unidades están representadas por los ensayos (pruebas), 3 pruebas para cada porcentaje de concentración de biodiesel en el aceite lubricante, las diferentes concentraciones con biodiesel en el aceite son los tratamientos. Las variables de respuesta están representadas por las propiedades fisicoquímicas, a continuación se ejemplifica lo antes descrito, para cada condición de mezcla.

Entonces para el caso de la viscosidad a 40°, el tipo de diseño utilizado no controla fuentes de error experimental a través del bloqueo o mediante registro estadístico distinto del orden de las mediciones, pero aun así, pueden existir potenciales factores perturbadores, tales como:

- Asociados a la naturaleza de los tratamientos:

Selección de los porcentajes de contaminación con Biodiesel

- Asociados al acto de medición:

Calibración de los instrumentos de medición.

Algún efecto de calentamiento o enfriamiento en las muestras empleadas que se produzca a medida que aumenta el porcentaje de biodiesel en las ejemplares.

Momento de la medición.

- Asociados a la naturaleza del material experimental:

La no aleatorización de las pruebas.

En continuación a lo antes mencionado, teniéndolo como base, el procedimiento para aleatorizar la asignación de las pruebas en el experimento fue el siguiente:

- Numerar del 1 al 12 las pruebas para todos los porcentajes de biodiesel en aceite, como se muestra a continuación:

% de Contaminación de Biodiesel	PRUEBAS		
Aceite original	1	2	3
A	4	5	6
B	7	8	9
C	10	11	12

- Ahora se seleccionaría un número aleatorio entre 1 y 12 (supongamos que este número es el 11).
- Luego la observación 11 (15%) se corre primero.
- Este proceso se repite hasta que las 12 observaciones tengan asignada una posición en la secuencia de prueba, si una observación se repitiera, ésta se descarta. Entendamos que si el número que salió de primero fue el 11, es decir, probar un porcentaje de concentración con 15% de biodiesel en lubricante, este valor se anota en la tabla de datos de primero, luego salió el número 5, se prueba con 5% de concentración, y se coloca en la tabla, es decir, se van intercambiando aleatoriamente los porcentajes de la muestras.

3.6.1 Modelo estadístico asociado al diseño:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1,2,3,\dots, t \\ j = 1,2,3,\dots, n \end{array}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ Ec. 3.6

Análisis de la Varianza para el modelo $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$

Ho: $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t$

Ha: al menos un efecto de un tratamiento es diferente de los demás.

Fuentes de Variación (F.V.)	Grados de Libertad (G.L.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Cuadrados Medios (C.M.)	F ₀
Tratamientos	t-1	$\sum_{i=1}^t n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2$	$\frac{S.C.TRAT.}{t-1}$	$\frac{C.M.TRAT}{C.M.ERROR}$
Error	$\sum_{i=1}^t n_i - t$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$	$\frac{S.C.ERROR}{\sum_{i=1}^t n_i - t} = \sigma^2$	
Total	$\sum_{i=1}^t n_i - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$		

Figura 3.1 Fuentes de variación, grados de libertad, suma de cuadrados y cuadrados medios, para el cálculo del diseño completamente aleatorizado, según SPSS.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En este apartado mostramos la información referente a la discusión de resultados y las conclusiones pertinentes para el trabajo de investigación.

4.1 Comparación de las características típicas del aceite lubricante Valvoline, VALVODIESEL API CI-4 “ALL-FLEET SUPER MOTOR OIL”, medidas en el laboratorio y presentadas en la hoja de especificaciones técnicas del fabricante.

Con respecto a la tabla 4.1 donde se efectúa la comparación de las características típicas del aceite lubricante Valvoline, VALVODIESEL API CI-4 “ALL-FLEET SUPER MOTOR OIL”, medidas en el laboratorio y presentada en la hoja de especificaciones técnicas del fabricante. En ésta se reflejan las características típicas, usando las normas ASTM para cada propiedad, SAE 15w40 (hoja técnica) y SAE 15w40 (laboratorio).

Tabla 4.1 Comparación de las características típicas del aceite lubricante SAE 15w40.

Características Típicas	Norma ASTM	hoja técnica	Laboratorio
Viscosidad a 100°C,cts	D-445	15,5	15
Viscosidad a 40°C,cts	D-445	125	124,5
Índice de Viscosidad	D-2270	130	130
TBN, (mgKOH/g)	D-2896	12	12
Punto de Inflamación, °C	D-92	222	220
Punto de Ecurrimiento, °C	D-97	-21	-22
Gravedad API	D-287	28	28,8

Para la credibilidad, en el análisis de las propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes a nivel de laboratorio, es importante la comparación de las características mostradas por el fabricante y las obtenidas mediante análisis propios de laboratorio, esto permite expresar referencias como; la calibración de los equipos utilizadas, la precisión del personal de laboratorio y las condiciones de presión y temperatura del ambiente de trabajo, cabe destacar que estas mediciones hechas en la Universidad de Oriente, fueron bajo las condiciones de trabajo siguiente; 83 °F y 1 atm.

4.2 Análisis de laboratorio de las muestras de aceite lubricante en dilución a diferentes concentraciones con biodiesel.

El analisis de la condición del aceite lubricante, a diferentes concentraciones con biodiesel, ayuda a ilustrar la tendencia en cuanto a

degradación o pérdida de las propiedades fisicoquímicas del lubricante en motores diesel alimentados con biodiesel simulando comportamientos en frío, determinando bajo condiciones de operación en laboratorio si el aceite lubricante ha perdido sus propiedades, que pudieran afectar el buen desempeño del mismo en el motor.

Las variaciones de las propiedades del aceite a diferentes concentraciones en dilución con biodiesel, se compararon con el aceite nuevo. En la tabla 4.2 se encuentran los valores de las características típicas, viscosidad a 40 °C, viscosidad a 100°C, índice de viscosidad, índice de basicidad (TBN), punto de inflamación, punto de escurrimiento, gravedad API.

Tabla 4.2 Comparación de Características típicas, del aceite lubricante neutro u original y diluciones de aceites lubricantes y biodiesel

Características Típicas	Norma ASTM	Aceite original	Muestra A Promedio	Muestra B Promedio	Muestra C Promedio
Viscosidad a 100°C,cts	D-445	15,5	13,78	12,04	10,80
Viscosidad a 40°C,cts	D-445	125	98,06	77,84	64,71
Índice de Viscosidad	D-2270	130	142	150	158
TBN, (mgKOH/g)	D-2896	12	0,94	1,02	0,98
Punto de Inflamación, °C	D-92	222	202	179,6	171,3
Punto de Escurrimiento, °C	D-97	-21	-20,66	-24,66	-26,33
Gravedad API	D-287	28	29,6	29,6	29,6

4.2.1 Análisis de la viscosidad.

El análisis de los datos generados a través del Diseño Completamente Aleatorizado del experimento llevado a cabo para estudiar los efectos que

producen las diferentes concentraciones con biodiesel en aceites lubricantes, sobre la viscosidad a 40°, confirma la presunción de que existen diferencias significativas entre los porcentajes de dilución con biodiesel, es decir, la viscosidad promedio son diferentes entre ellos.

La viscosidad a 40° resultó estadísticamente distinta para los tres porcentajes de contaminación con Biodiesel; el estadístico F de Análisis de la Varianza que permite establecer la igualdad del efecto del porcentaje de contaminación con Biodiesel sobre la viscosidad a 40°, arrojó un valor de 2885,180 que es estadísticamente significativo ($p < 0,005$), la viscosidad a 40° resulta estadísticamente diferente en los diferentes porcentaje de contaminación con Biodiesel, como muestra la figura 4.1

ANOVA

Viscosidad a 40° (cts)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6200,251	3	2066,750	2885,180	,000
Within Groups	5,731	8	,716		
Total	6205,982	11			

Figura 4.1 Anova correspondiente a la variación de la viscosidad a 40°C con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante

El porcentaje de dilución en las muestras preparadas con biodiesel y aceite lubricante, que produjo la diferencia de viscosidad promedio más alta fue al 15%, es decir, 60,29 cts, la cual difiere estadísticamente al 5% del resto de los porcentajes de contaminación con Biodiesel (Error Estándar igual a 0,69105), según la figura 4.2.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Viscosidad a 40° (cts)

Tukey HSD

(I) Grado de Biodiesel	(J) Grado de Biodiesel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0% de Biodiesel	5% de Biodiesel	26,94000*	,69105	,000	24,7270	29,1530
	10% de Biodiesel	47,05667*	,69105	,000	44,8437	49,2697
	15% de Biodiesel	60,29000*	,69105	,000	58,0770	62,5030
5% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-26,94000*	,69105	,000	-29,1530	-24,7270
	10% de Biodiesel	20,11667*	,69105	,000	17,9037	22,3297
	15% de Biodiesel	33,35000*	,69105	,000	31,1370	35,5630
10% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-47,05667*	,69105	,000	-49,2697	-44,8437
	5% de Biodiesel	-20,11667*	,69105	,000	-22,3297	-17,9037
	15% de Biodiesel	13,23333*	,69105	,000	11,0203	15,4463
15% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-60,29000*	,69105	,000	-62,5030	-58,0770
	5% de Biodiesel	-33,35000*	,69105	,000	-35,5630	-31,1370
	10% de Biodiesel	-13,23333*	,69105	,000	-15,4463	-11,0203

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Figura 4.2 Representación estadística del diseño completamente aleatorizado para viscosidad a 40 °C

El razonamiento de los datos a través del diseño completamente aleatorizado de la experiencia llevado a cabo para estudiar los efectos que producen los porcentajes de disolución con biodiesel en lubricante, sobre la viscosidad a 100° fortalece la conjetura de que existen diferencias características entre los porcentajes de contaminación con Biodiesel sobre la viscosidad con 100°, es decir, la viscosidad promedio son diferentes entre ellos.

La viscosidad a 100° resultó estadísticamente distinta para los tres porcentajes de concentración de las muestras; el estadístico F de Análisis de la Varianza que permite establecer la igualdad del efecto del porcentaje de contaminación con Biodiesel sobre la viscosidad a 100°, arrojó un valor de 192,030 que es estadísticamente significativo ($p < 0,005$), la viscosidad a 100° resulta estadísticamente diferente en los diferentes porcentaje de contaminación con Biodiesel, según la figura 4.3

ANOVA

Viscosidad a 100%

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	37,849	3	12,616	192,030	,000
Within Groups	,526	8	,066		
Total	38,375	11			

Figura 4.3 Anova correspondiente a la variación de la viscosidad a 100°C con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante

El porcentaje de dilución con biodiesel que produjo la diferencia de viscosidad promedio más alta fue al 15%, es decir, 4,7 cts., la cual difiere estadísticamente al 5% del resto de los porcentajes de contaminación con Biodiesel (Error Estándar igual a 0,20928). Ver figura 4.4

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Viscosidad a 100%

Tukey HSD

(I) Porcentaje de Biodiesel	(J) Porcentaje de Biodiesel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0% de Biodiesel	5% de Biodiesel	1,72000*	,20928	,000	1,0498	2,3902
	10% de Biodiesel	3,46000*	,20928	,000	2,7898	4,1302
	15% de Biodiesel	4,70000*	,20928	,000	4,0298	5,3702
5% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-1,72000*	,20928	,000	-2,3902	-1,0498
	10% de Biodiesel	1,74000*	,20928	,000	1,0698	2,4102
	15% de Biodiesel	2,98000*	,20928	,000	2,3098	3,6502
10% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-3,46000*	,20928	,000	-4,1302	-2,7898
	5% de Biodiesel	-1,74000*	,20928	,000	-2,4102	-1,0698
	15% de Biodiesel	1,24000*	,20928	,002	,5698	1,9102
15% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-4,70000*	,20928	,000	-5,3702	-4,0298
	5% de Biodiesel	-2,98000*	,20928	,000	-3,6502	-2,3098
	10% de Biodiesel	-1,24000*	,20928	,002	-1,9102	-,5698

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Figura 4.4 Representación estadística del diseño completamente aleatorizado para viscosidad a 100 °C

En la figura 4.5 puede observarse la variación de la viscosidad con respecto a la concentración de biodiesel presente en la mezcla con aceite lubricante, los valores para la construcción de las gráficas de viscosidad cinemática a 40° C y 100°C se encuentran en la tabla 4.6. Los análisis de viscosidad fueron realizados tomando como base la viscosidad del aceite nuevo en hoja de especificaciones técnicas.

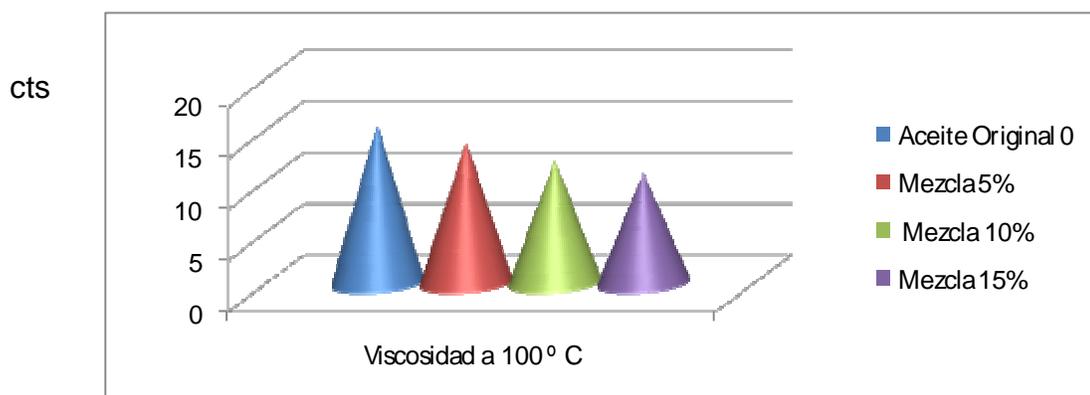


Figura 4.5 Variación de la viscosidad a 100°C con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante

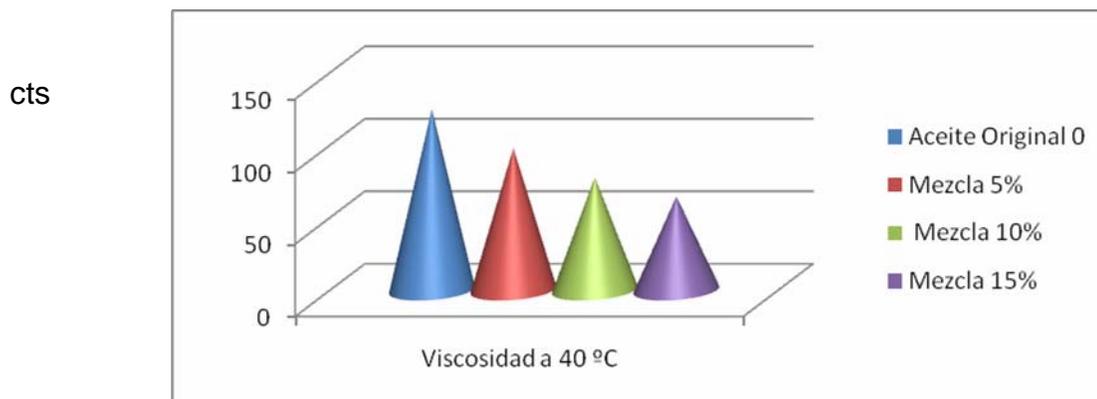


Figura 4.6 Variación de la viscosidad a 40°C con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante

En las figuras expuestas anteriormente, 4.5 y 4.6, se muestra la tendencia de la viscosidad en disminuir su valor a medida que se incremente la concentración de biodiesel en la mezcla con lubricante.

Para el caso de estudio de la viscosidad a 100°C, el aceite original presenta un valor de 15,5 cts, para la muestra de 5% biodiesel en aceite lubricante 13,78 cts, para la mezcla de 10% biodiesel con aceite lubricante 12,04, para muestra de 15% biodiesel en aceite lubricante 10,80 cts. En el argumento de estudio de la viscosidad a 40°C, el aceite original presenta un valor de 125 cts, para la muestra de 5% biodiesel en aceite lubricante 98,06 cts, para la mezcla de 10% biodiesel con aceite lubricante 77,84 cts, para muestra de 15% biodiesel en aceite lubricante 64,71 cts.

La causa de la disminución de la viscosidad, puede ser producida por la aparición de productos de oxidación en frío del aceite; sin embargo, en este trabajo de investigación no se realizaron análisis de oxidación infrarrojos, por falta del equipo necesario. En cuantos a las concentraciones de biodiesel en el aceite es evidente que a medida que aumenta en porcentaje de biodiesel en la mezcla con aceite lubricante disminuye el valor de viscosidad a 40°C, el valor de viscosidad a 100°C.

4.2.2 Análisis del índice de viscosidad

Se observa que el comportamiento del índice de viscosidad comparando la muestra de lubricante neutro y las diferentes mezclas en estudio, en la figura 4.7 se puede evidenciar la variación del índice de viscosidad, por acción de las distintas concentraciones con biodiesel en el aceite lubricante. Los datos para la elaboración de esta gráfica están en la tabla 4.2.

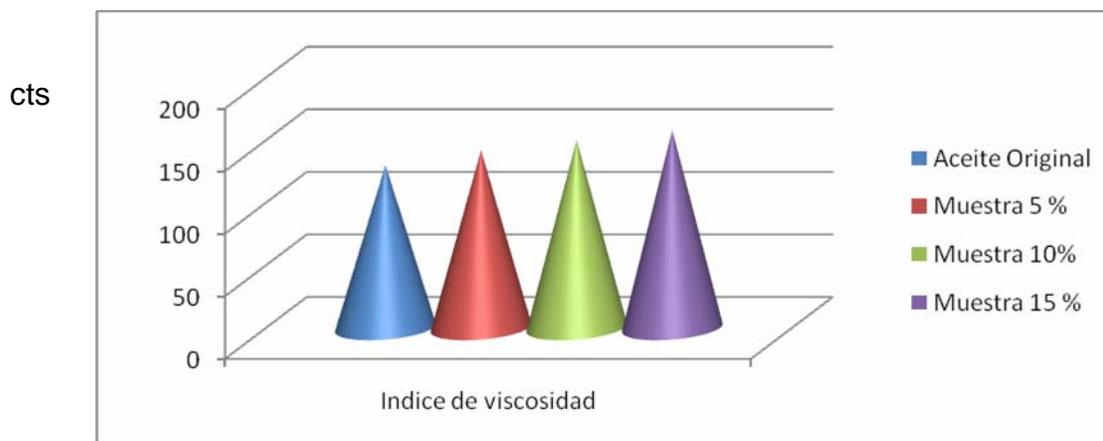


Figura 4.7 Variación del índice de vcon respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

Para elaborar la gráfica del índice de viscosidad, primero fueron determinadas las viscosidades a 40°C y a 100°C, y siguiendo los procedimientos del cálculo estipulados en la norma ASTM D-2270.

Es notable la tendencia del aumento en el índice de viscosidad, esto se debe a la proporcionalidad, en la cual las viscosidades, a partir de las cuales se realiza el cálculo van en aumento como lo muestran las figuras 4.1 y 4.2.

4.2.3 Análisis del índice de basicidad (TBN)

En la figura 4.8 se observan las variaciones de la basicidad en las muestras de aceite en estudio, en las 3 diluciones diferentes con biodiesel y su patrón original, los datos para la construcción de la gráfica se pueden encontrar en la tabla 4.2, en la gráfica se observa que la tendencia de basicidad (TBN), no son uniformes, aunque los valores en los cuales se mantienen son bastante estables ver anexo D.

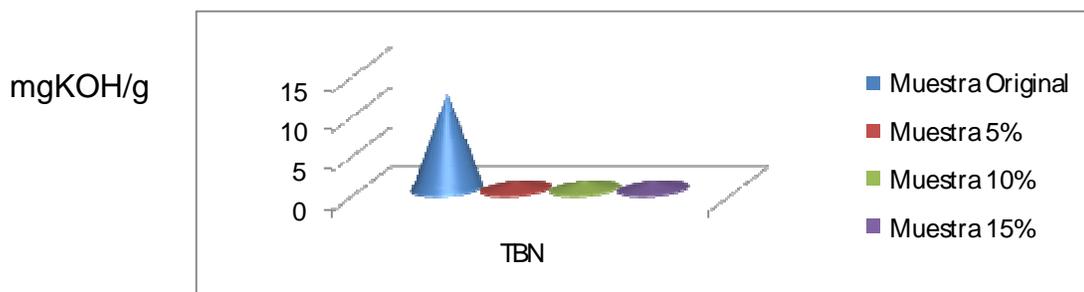


Figura 4.8 Variación del Índice de Basicidad con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

El análisis del índice de basicidad indica que existe una disminución evidente del mismo aunque no posea tendencia uniforme para la muestra original tenemos un valor 12mgKOH/g, para la muestra de A aceite lubricante y biodiesel presenta un valor de 0,94 mgKOH/g, en la muestra de B aceite lubricante y biodiesel 1,02 mgKOH/g y para C en la misma condición se reporta un valor de 0,98 mgKOH/g.

Esto demuestra que la presencia de biodiesel en el aceite lubricante disminuye el índice de basicidad por acciones de una posible oxidación.

4.2.4 Análisis del punto de inflamación

Los datos generados a través del diseño completamente aleatorizado del experimento llevado a cabo, sobre el Punto de Inflamación, muestra que existen discrepancias reveladoras entre los porcentajes de disolución con biodiesel sobre el Punto de Inflamación, es decir, el punto de inflamación promedio son diferentes entre ellos.

El punto de Inflamación resultó estadísticamente distinta para los diferentes porcentaje de dilución; el estadístico F de Análisis de la Varianza que permite establecer la igualdad del efecto del porcentaje de contaminación con Biodiesel sobre el punto de Inflamación, arrojó un valor de 774,111 que es estadísticamente significativo ($p < 0,005$), el punto de Inflamación resulta estadísticamente diferente en los diferentes porcentaje de contaminación con Biodiesel, según figura 4.9

ANOVA

Punto de Inflamación (°C)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4644,667	3	1548,222	774,111	,000
Within Groups	16,000	8	2,000		
Total	4660,667	11			

Figura 4.9 Anova correspondiente a la variación del el punto de Inflamación con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

En las muestras, la diferencia del punto de Inflamación promedio más alta fue al 15%, es decir, 50,33 °C, la cual difiere estadísticamente al 5% con el resto de los porcentajes de contaminación con Biodiesel (Error Estándar igual a 1,15470). Ver figura 4.10.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Punto de Inflamación (°C)

Tukey HSD

(I) Porcentaje de contaminación con Biodiesel	(J) Porcentaje de contaminación con Biodiesel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0% de Biodiesel	5% de Biodiesel	19,66667*	1,15470	,000	15,9689	23,3644
	10% de Biodiesel	42,00000*	1,15470	,000	38,3022	45,6978
	15% de Biodiesel	50,33333*	1,15470	,000	46,6356	54,0311
5% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-19,66667*	1,15470	,000	-23,3644	-15,9689
	10% de Biodiesel	22,33333*	1,15470	,000	18,6356	26,0311
	15% de Biodiesel	30,66667*	1,15470	,000	26,9689	34,3644
10% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-42,00000*	1,15470	,000	-45,6978	-38,3022
	5% de Biodiesel	-22,33333*	1,15470	,000	-26,0311	-18,6356
	15% de Biodiesel	8,33333*	1,15470	,000	4,6356	12,0311
15% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-50,33333*	1,15470	,000	-54,0311	-46,6356
	5% de Biodiesel	-30,66667*	1,15470	,000	-34,3644	-26,9689
	10% de Biodiesel	-8,33333*	1,15470	,000	-12,0311	-4,6356

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Figura 4.10 Representación estadística del diseño completamente aleatorizado del punto de inflamación.

Con la ayuda de los datos que se encuentran en la tabla 4.2, se elaboró la gráfica en la cual se distingue la conducta, en lo que respecta al punto de inflamación para el aceite virgen y las diferentes muestras en estudio.

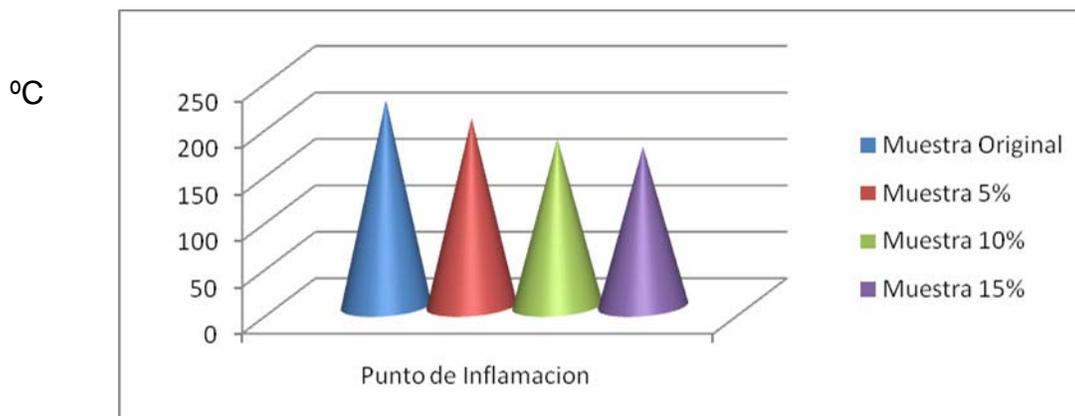


Figura 4.11 Variación del Punto de Inflamación con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

La presencia de biodiesel en el aceite infliere levemente en la volatilidad del lubricante, esto se debe a que el biodiesel tiene un punto de inflamación mayor a 130 °C, más volátil que el aceite lubricante neutro, al combinar estas 2 sustancias el lubricante pierde su propiedad antidetonante y tiene mayor capacidad de arder.

4.2.5 Análisis del punto de escurrimiento o fluidez

El estudio de los datos compuestos mediante el diseño completamente aleatorizado del experimento llevado a cabo para estudiar los efectos que producen los porcentajes de dilución de aceite con biodiesel, sobre el punto de fluidez, corrobora la conjetura de que concurren diferencias demostrativas entre las muestras, sobre el punto de fluidez, es decir, en promedio son diferentes entre ellos.

El punto de fluidez dijo estadísticamente distinta para los tres porcentaje de contaminación con biodiesel; el estadístico F de Análisis de la Varianza que permite establecer la igualdad del efecto del porcentaje de las ejemplares analizados, el mismo, arrojó un valor de 75,556 que es estadísticamente significativo ($p < 0,005$), el punto de fluidez resulta estadísticamente diferente en los diferentes porcentaje de contaminación con Biodiesel, según figura 4.12.

ANOVA

Punto de Fluidez (°C)

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	56,667	3	18,889	75,556	,000
Within Groups	2,000	8	,250		
Total	58,667	11			

Figura 4.12 Anova correspondiente a la variación del el punto de escurrimiento o fluidez con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante

El porcentaje de mezcla con biodiesel y aceite, produjo la diferencia del punto de fluidez promedio más alta fue al 15%, es decir, 5,66 °C, la cual difiere estadísticamente al 5% con el 0% y el 5% del porcentaje de contaminación con biodiesel. Sin embargo, no hay diferencias significativas entre 0% y 5%, y entre el 10% y 15% en las muestras. (Error Estándar igual a 0,40825). Ver figura 4.13

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Punto de Fluidez (°C)
Tukey HSD

(I) Porcentaje de Contaminación de Biodiesel	(J) Porcentaje de Contaminación de Biodiesel	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0% de Biodiesel	5% de Biodiesel	1,33333*	,40825	,046	,0260	2,6407
	10% de Biodiesel	3,66667*	,40825	,000	2,3593	4,9740
	15% de Biodiesel	5,66667*	,40825	,000	4,3593	6,9740
5% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-1,33333*	,40825	,046	-2,6407	-,0260
	10% de Biodiesel	2,33333*	,40825	,002	1,0260	3,6407
	15% de Biodiesel	4,33333*	,40825	,000	3,0260	5,6407
10% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-3,66667*	,40825	,000	-4,9740	-2,3593
	5% de Biodiesel	-2,33333*	,40825	,002	-3,6407	-1,0260
	15% de Biodiesel	2,00000*	,40825	,005	,6926	3,3074
15% de Biodiesel	0% de Biodiesel	-5,66667*	,40825	,000	-6,9740	-4,3593
	5% de Biodiesel	-4,33333*	,40825	,000	-5,6407	-3,0260
	10% de Biodiesel	-2,00000*	,40825	,005	-3,3074	-,6926

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Figura 4.13 Representación estadística del diseño completamente aleatorizado el punto de escurrimiento o fluidez.

En la tabla 4.2 se encuentran los valores mediante los cuales se realizó la figura 4.14, la misma ilustra el proceder del punto de escurrimiento a medida que aumenta la concentración de biodiesel en aceite lubricante partiendo desde el aceite neutro.



Figura 4.14 Variación del Punto de Escurrimiento con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

A medida que la concentración de biodiesel en el aceite lubricante aumenta disminuye el punto de escurrimiento o congelación de la muestra. Esto se debe a que la presencia de biodiesel en el aceite lubricante ocasiona la baja de la temperatura de congelamiento en las mismas.

4.2.6 Análisis de la gravedad API.

En la figura 4.15 se observa el comportamiento de la gravedad API en el aceite lubricante a los 3 niveles de concentración con biodiesel y en el aceite neutro, los datos para la elaboración de esta figura se reportan en tabla 4.2, de una manera general al comportamiento con el aceite en frío, esta propiedad no sufre variaciones durante el estudio.

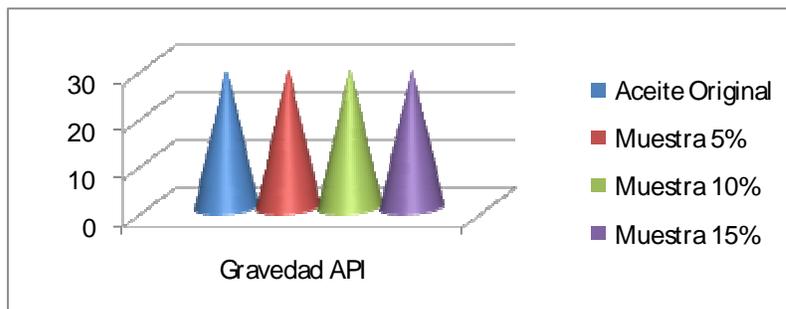


Figura 4.15 Variación de la Gravedad API con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

La gravedad API no varió a medida que aumentó la concentración de biodiesel en estas mezclas frías, o al menos hasta un valor de 15% de biodiesel en aceite lubricante mantuvo un valor de 29,6. Para la determinación de la gravedad API en estos estudios, no se sometió a degradación térmica considerable. Según el análisis estadístico no existe diferencia significativa.

Es importante señalar que durante la realización de este trabajo en lo cual se evaluó el comportamiento del aceite lubricante a diferentes concentraciones en disolución con biodiesel, se estudiaron otras propiedades que se consideraron importantes, conjuntamente con las características típicas anteriormente presentadas, las mismas son mostradas a continuación:

4.2.7 Análisis de protección al desgaste.

Esta prueba fue realizada bajo condiciones específicas, a 20 kg de presión, 54°C, 1800 rpm durante una hora, donde se analiza la protección al desgaste del aceite lubricante nuevo y las diferentes mezclas de biodiesel y

lubricante, en el equipo de cuatro bolas, en la figura 4.16 se muestra la conducta del aceite lubricante original o nuevo así como también las mezclas de aceite y biodiesel preparadas para el estudio.

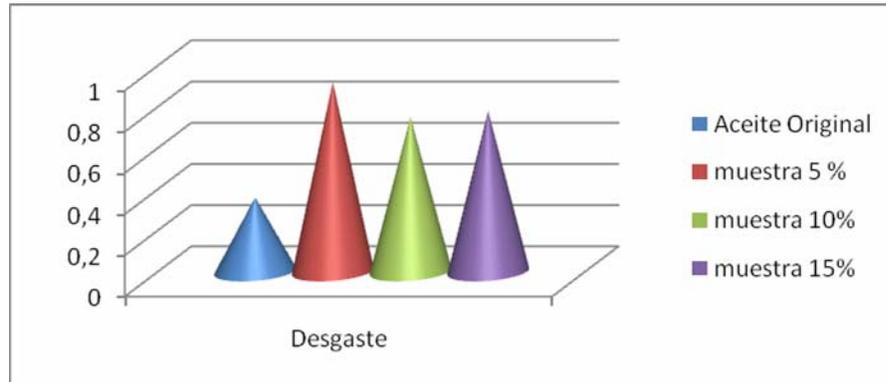


Figura 4.16 Variación de la Protección al desgaste con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

Se evidencia un pequeño aumento en lo que respecta al desgaste determinado por el equipo de las cuatro bolas. Se demuestra que el biodiesel no aporta significativamente propiedades al aceite que aumente la protección al desgaste.

El razonamiento de los fundamentos generados a través del experimento llevado a cabo para estudiar los efectos que producen los porcentajes de mezcla con biodiesel y aceite lubricante sobre el desgaste, aumenta según aumenta los porcentajes de contaminación con Biodiesel, sin embargo, el mayor aumento del desgaste se obtuvo en la mezcla de 5% de biodiesel en aceite lubricante. Ver figura 4.17

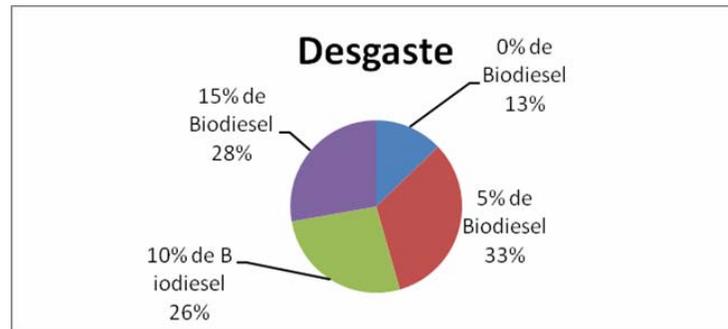


Figura 4.17 Resultados en porcentajes de la prueba de protección al desgaste.

4.2.8 Análisis de la corrosión a la lámina de cobre.

Esta prueba se realizó para determinar el índice de corrosión, según el patrón de comparación de los indicadores en el panel ASTM, según la norma ASTM D-130, reflejada en la figura 4.18, para construir esta gráfica se tomaron los valores de la tabla 3.8.

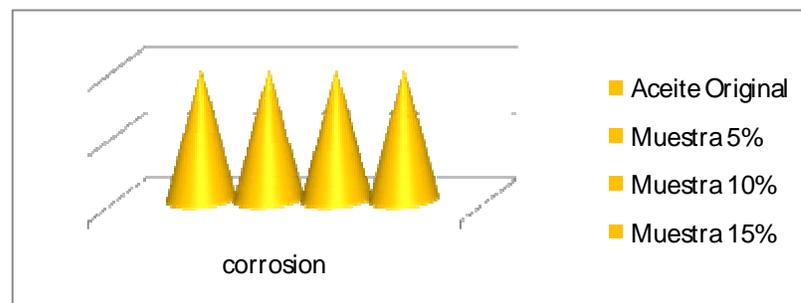


Figura 4.18 Variación de la Protección al desgaste con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

Las muestras analizadas y el aceite original no cambian su índice de corrosión, entran en la escala aceptable con un resultado de 1-A, dando un color rojizo, propio de la lámina de cobre sin alteraciones para todos los casos. Siendo este el primer valor de la tableta comparativa de ASTM, mostrada en los anexos.

Este comportamiento se debe a que la dilución con biodiesel a pesar que reduce la reserva alcalina (TBN) no añade compuestos ácidos o corrosivos.

4.2.9 Análisis del índice de acidez (TAN)

En la figura 4.19 se pueden apreciar, la variación de la acidez del aceite nuevo con respecto a las preparaciones de 5%, 10% y 15% de biodiesel en aceite lubricante. La gráfica se construyó con los datos ofrecidos por la tabla 3.11. Por lo general, la tendencia en los aceites lubricantes para motor para TAN, es de 2 a 3.

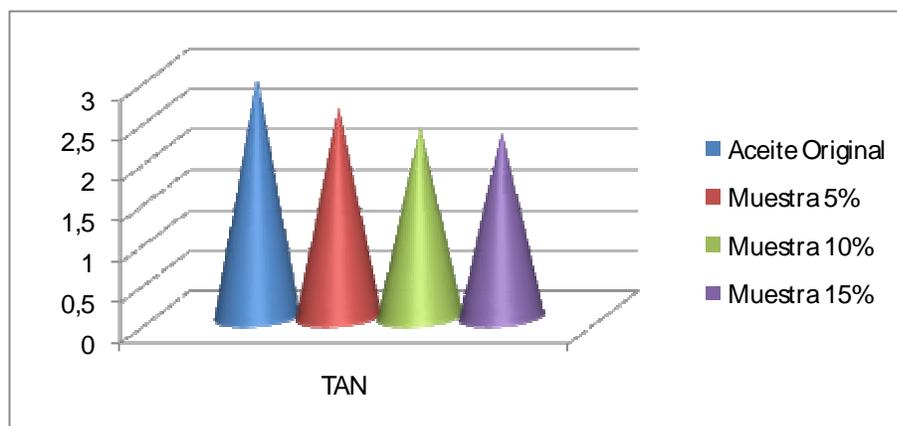


Figura 4.19 Variación del índice de acidez con respecto a la concentración de biodiesel en aceite lubricante.

Se observa que a medida que se aumenta la concentración de biodiesel en aceite lubricante, se disminuye el número de acidez del aceite, con respecto a su valor original que es de 2,980 mgKOH/g, para la concentración de 5% de biodiesel en lubricante se reporta un valor de 2,61 mgKOH/g, y para las concentraciones de 10% y 15 % de biodiesel en lubricante se

muestran respectivamente los valores de 2,368 mgKOH/g y 2,31 respectivamente

4.2.10 Análisis infrarrojos

Las siguientes pruebas serán ubicadas en una categoría por pertenecer a mismo método de ensayo, NVE 751. Según lo especifica el laboratorio central de STAVCA perteneciente a Venoco.

Tabla 4.3 Tabla de comparación de análisis infrarrojos, porcentaje de agua, oxidación, nitración, sulfatación, glicol y hollín en aceite lubricante neutro u original y dilución de aceites lubricantes y biodiesel. Según método NVE 751.

Análisis	Muestra 5%	Muestra 10%	Muestra 15%
Porcentaje de agua (%)	0	0,07	0,09
Oxidación	5,81	11,65	16,70
Nitración	0	0	0
Sulfatación	0	0	0
Glicol	0	0	0
Hollín	0,16	0,28	0,47

4.2.10.1 Análisis infrarrojo del porcentaje de agua

En la tabla 4.3 se resaltan las referencias obtenidas para este análisis, a pesar del que aceite no es usado (en motor diesel), si no que las mezclas echas fueran a nivel de laboratorio se observa un pequeño porcentaje de agua en la muestra de 10% y 15% de biodiesel en lubricante, 0,07 % y 0,09 % respectivamente, en cambio para 5 % arroja un valor de 0 %. El biodiesel

original, según la hoja de certificado de análisis, muestra un porcentaje de agua calculado según la norma ASTM D-4927 de 0,05 % como valor máximo presente en la muestra y un valor real (resultado) de 0,019 % , posiblemente este valor empieza a aparecer en el aceite en el intervalo entre 5 % y 10 % de mezcla de biodiesel y aceite lubricante.

En aceites lubricantes usados se permite un valor máximo de agua de 0,2% el agua es un elemento no deseado en el aceite ya que disminuye su capacidad para proteger partes en movimiento.

4.2.10.2 Análisis infrarrojo de la oxidación.

En la tabla 4.3 se manifiesta el aumento con respecto al nivel de oxidación en el aceite lubricante a medida que acrecienta la concentración del biodiesel, para la muestra de 5 % se obtuvo un valor de 5,81 A/cm, para la concentración de 10 % 11,65 y para la concentración de 15% 16, 7 A/cm, se podría decir que a medida que aumenta la concentración de biodiesel en el aceite lubricante aumentan los compuestos oxidados en el lubricante, lo cual hace presumir que el biodiesel consume parte de los aditivos alcalinos y antioxidantes, reduciendo la protección del lubricante al proceso de oxidación.

Posiblemente el origen renovable de la producción del biodiesel contenga elementos que perturben la calidad del aceite lubricante, dando como resultado el efecto que se evidencia en el estudio del resultado al análisis de oxidación.

4.2.10.3 Análisis infrarrojo de nitración, sulfatación y glicol

Debido a la naturaleza de las pruebas realizadas es difícil encontrar resultados para nitración, sulfatación y glicol, ya que estos empiezan a aparecer cuando el aceite sufre degradaciones térmicas correspondientes a su uso dentro del funcionamiento del motor diesel y no para mezclas en frío como las que se están estudiando.

4.2.10.4 Análisis infrarrojo de hollín

Como lo expresa la tabla 4.3, la concentración de hollín o carbono elemental, se eleva un poco a medida que aumenta la concentración de Biodiesel en el aceite lubricante. Para la dilución de 5 % fue de 0,16% y arroja valores de 0,28 % y 0,47% para las cuyas concentraciones son 10% y 15% de biodiesel en aceite lubricante.

Aunque el aceite original no fue expuesto a degradación térmica en el momento de preparación de las mezclas a diferente concentración de biodiesel, hay una pequeña aparición de hollín.

4.3 Presentación de opciones sobre el uso de biodiesel como fuente energética alternativa en Venezuela.

Venezuela es un exportador neto de petróleo. La mayor parte del sector transporte consume gasolina como combustible y el diésel es utilizado en menores proporciones, lo que significa que una cierta parte del volumen de diesel que se produce es exportado a diferentes países. En el marco de promover el crecimiento del sector de la palma aceitera, el estado venezolano estuvo analizando la posibilidad de destinar parte del aceite de

palma a la producción de biodiesel; sin embargo, a finales del año 2007, esta posibilidad quedó descartada entre otras razones porque podría afectar la producción de alimentos. Adicionalmente, Venezuela ratificó que es partidaria de sustituir algunos componentes de los combustibles fósiles por biocombustibles a fin de disminuir los problemas ambientales y de salud que pueden causar, pero nunca sustituiría los productos agrícolas para fines alimenticios por bioenergía.

Tomando en cuenta que la materia prima para el biodiesel son los aceites vegetales, se tiene que en Venezuela el mercado de grasas y aceites comestibles es dependiente de las importaciones, ya que la producción nacional no cubre la demanda interna.

Con base en lo anteriormente expuesto, la producción en biodiesel en Venezuela no luce viable. En primer lugar, por ser un país netamente productor de petróleo y con las mayores reservas probadas para los próximos años, tiene garantizada su seguridad energética, no ha sentido presión alguna por desarrollar fuentes alternas de energía, sin embargo, es importante tomar en cuenta que su principal negocio podría apalancar el desarrollo de investigaciones tecnológicas que permitan disminuir las emisiones contaminantes que se generan en el uso y refinación de los combustibles fósiles.

En segundo lugar, se debe hacer énfasis en la disponibilidad de materia prima para la producción de biodiesel, por lo que en todo caso sería necesario el aumento de las importaciones de aceites vegetales para este fin en los actuales y tomando en cuenta que posee abundancia de diesel de petróleo, o hablar en términos de tecnologías y culturas, dando a la producción de biodiesel como atribución para el desarrollo sustentable. De

adoptar el esquema de mezclar pequeñas (como aditivo) proporciones de este biocombustible con el diesel convencional, será necesario evaluar la factibilidad de producirlo localmente con importaciones de materia prima ó importar directamente el biodiesel.

El uso de combustibles ecológicos que mejoren la calidad de vida, reduciendo las emisiones de residuos tóxicos dañinos para la población, reducir la amenaza que pesa sobre el cambio del clima a través del uso de combustibles de origen vegetal con bajo nivel de impacto en el aumento de la cantidad de dióxido de carbono en el aire, educar a la población en las ventajas del uso de combustibles renovables de origen sin poner en riesgo nuestra economía petrolera.

Se sabe que el biodiesel se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency – EPA –EEUU) .Puede usarse como combustible puro al 100 % (B100), como una base de mezcla para el diesel de petróleo (B20), o en una proporción baja como aditivo del 1 al 5 %. De esta forma el biodiesel se complementa, no compite con el petróleo.

Por ello la presentación del biodiesel como aditivo al diesel de petróleo venezolano, podría llevar consigo las siguientes características:

- a) Producción de aceite de palma en Venezuela (sin deforestar y en lo posible usando suelos degradados por acción humana). La productividad de palma en Venezuela debe ser explorada en especial en estos lugares. También usar materias prima de desecho u otras especies como el alga *Lemna sp* (lenteja marina). Presente en el lago de Maracaibo.

- b) Dados los requisitos de bajo contenido de azufre imponiéndose en los combustibles por ejemplo gasoil con menos de 50 ppm de azufre e incluso menos de 10 ppm en muchos mercados y las nuevas mecánicas diseñadas para esos combustibles de bajo azufre (sistemas con reciclo de gases, common rail, catalizadores de PM y NOx), los requerimientos de lubricidad perdida requieren el agregado de un paquete de aditivos específico. El biodiesel al 2% cubre los requisitos de lubricidad perdida al reducir el azufre sin ningún efecto indeseable de consideración y a buen costo beneficio.
- c) Hoy el biodiesel se vende a 1300 u\$/tn métrica condición FOB con lo cual la única manera que compita es en esa aplicación como aditivo en combustibles gasoil bajo azufre.
- d) Optar por los bonos de carbono de la ONU.

4.4 CONCLUSIONES

1. La dilución del combustible en el aceite lubricante reduce la viscosidad y proporcionalmente aumenta el índice de viscosidad, por efectos de dilución del biodiesel en el aceite lubricante.
2. La disgregación del combustible en el aceite lubricante produce agotamiento de la reserva de alcalinidad en el aceite, indicado por la disminución del número de base total (TBN).
3. Índice de acidez total (TAN) disminuye al aumentar la concentración con biodiesel, probablemente por efecto de la dilución y no por reacción del combustible con los ácidos presentes en el aceite.

4. Las mezclas de aceite lubricante y biodiesel no influyen en la prueba de corrosión a la lamina de cobre, bajo estas condiciones no es corrosivo.
5. La contaminación con biodiesel dentro del rango estudiado aumenta el desgaste en la prueba de 4 bolas, con respecto al aceite nuevo, aunque no se puede concluir que sea un valor importante con respecto a otros combustibles.
6. A medida que aumenta la concentración de biodiesel en el aceite lubricante aumentan los compuestos oxidados en el lubricante, lo cual hace presumir que el biodiesel consume parte de los aditivos alcalinos y antioxidantes, reduciendo la protección del lubricante al proceso de oxidación por efectos de alguna reacción química no controlada.
7. La magnitud estimada del error experimental parece indicar que en el experimento se ejerció un control efectivo de las fuentes de variabilidad listadas y que perturban el diseño.
8. La producción en biodiesel en Venezuela no luce viable desde el punto de vista energético, principalmente, por ser un país netamente productor de petróleo y con las mayores reservas probadas para los próximos años, ya que tiene garantizada su seguridad energética.
9. La producción en biodiesel en Venezuela desde el punto de vista del ambiente y desarrollo sustentable, es necesaria para contrarrestar el impacto negativo de la combustión de los productos del petróleo. Además, resulta factible la investigación en Venezuela del uso del biodiesel con aditivo al diesel de petróleo.

4.5 RECOMENDACIONES

1. Desarrollar investigación similar a la actual considerando el efecto de la degradación térmica

2. Incentivar las investigaciones en beneficio a la conservación ambiental, el desarrollo sostenible y las energías alternativas
3. Hacer estudio del efecto de la dilución con biodiesel en banco de pruebas de motores, para estudiar el comportamiento del aceite lubricante en condiciones reales.
4. Abrir líneas de investigación sobre formulación de aditivos de TBN y protectores de la oxidación que no sean afectados por la dilución del biodiesel.
5. Evaluar las opciones de producir biodiesel para ser usado como aditivo para el control de emisiones y productos de combustión y como producto de exportación en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

1. Lozano Y., (2009). **“Estudio de mercado, Viabilidad de los biocombustibles: biodiesel y bioetanol”**. Programa de Doctorado Ciencia e Ingeniería Agrarias, Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal y Genética, Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Madrid- España
2. Chica F., y Espinoza F. (2008). **“Estudio y aplicación del biodiesel (El biodiesel como alternativa para reducir las emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca)**. Publicación en la revista INGENIUS. Cuenca- Ecuador.
3. Benavides A., Benjumea P. Y Pashova V. (2007). **“El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel”**, elaborado por Grupo Combustibles Alternativos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
4. Cabrices, R. (2006). **“Evaluación del funcionamiento del motocompresor K-11 ubicado en la planta Acema 200 del distrito sur San Tome a partir del análisis fisicoquímico del aceite lubricante”**. Tesis de grado. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente.
5. Referencias sobre Biodiesel y Biotecnología disponible en: <http://www.overde.com.ar/FRAMES/informes/biodiesel.htm> (2002).

6. Ciria J., (2006). **“Propiedades Y Características de Combustibles Diesel Y Biodiesel”**. Wearcheck Ibérica. Disponible en: www.wearcheckiberica.es.
7. **“Enciclopedia de la mecánica ingeniería y técnica”**. (1990). Tomo 2. Grupo Editorial Océano. Tercera Edición. España.
8. PDVSA., (1990). **“Métodos y ensayos para Análisis de Aceites Lubricantes”**, Caracas
9. Sabino C., (2003) **“El Proceso de la Investigación”**. Editorial Panapo. Caracas-Venezuela.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	DESCRIPCION DE LOS EFECTOS DEL BIODIESEL EN LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LOS LUBRICANTES
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Pérez M., Jesús R.	CVLAC: 18.916.020 E MAIL: jesusrperez@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Biodiesel

Lubricantes

Propiedades

Fisicoquímicas

Efectos

Descripción

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente estudio se evaluó el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de un lubricantes diesel ante la dilución con biodiesel, para la cual se utilizo aceite lubricante con estándares internacionales de fabricación, para motor diesel SAE 15W-40, marca Valvoline, tipo VALVODIESEL API CI-4 “ALL-FLEET SUPER MOTOR OIL”. Se seleccionó una muestra de biodiesel producido con estándares internacionales, proveniente desde la Republica Argentina, elaborado por la empresa UNITEC BIO S.A, en la Provincia de santa Fe, en la localidad de Punta Quebrada. Se analizaron muestras de aceite diluidas con 5, 10 y 15% de biodiesel. Los análisis de propiedades físico-químicas se realizaron bajos las normas ASTM. Los resultados demostraron que la dilución del combustible en el aceite lubricante reduce la viscosidad y aumenta el índice de viscosidad, produce agotamiento de la reserva de alcalinidad en el aceite, indicado por la disminución del número de base total (TBN), disminuye. La contaminación con biodiesel dentro del rango estudiado aumenta el desgaste de los pares tribológicos con movimiento relativo. Igualmente, se observo que a medida que aumenta la concentración de biodiesel en el aceite lubricante aumentan los compuestos oxidados en el lubricante. Finalmente propone la producción en biodiesel en Venezuela desde el punto de vista del ambiente y desarrollo sustentable, es necesaria para contrarrestar el impacto negativo de la combustión de los productos del petróleo. Además, resulta factible la investigación en Venezuela del uso del biodiesel con aditivo al diesel de petróleo.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Henry Espinoza Bejarano	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Alexis cova	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Luis Moreno	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2011	11	30
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Efectos_Biodiesel_Propiedades_Lubricantes.doc	Application/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1
2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de ingeniería química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Pérez M., Jesús R.

AUTOR

Dr. Henry Espinoza Bejarano

TUTOR

Ing. Alexis cova (MSc)

JURADO

Ing. Luis Moreno

JURADO

Ing. Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS