UNIVERSIDAD NACIONAL
DE MAR DEL PLATA

FACULTAD
DE INGENIERIA

Estudio de degradación de piezas de motores diésel al funcionar con biodiesel

Autores
Casalí Carlos
Salvador Pablo

Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Mecánica
Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata
Mar del Plata, abril 2019

Tutores
Dr. Caldera Martín
Dr. Stocchi Ariel

RINFI

REPOSITORIO INSTITUCIONAL

INTEMA | FACULTAD DE INGENIERÍA | UNMDP

RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Esta página se deja en blanco

ÍNDICE

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1 ..... **9**

BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA **9**

1.1 INTRODUCCIÓN 9
1.2 CARÁCTER DEL PROBLEMA 9
1.3 MOTIVACIÓN PARA ABORDARLO 11

CAPÍTULO 2 ..... **13**

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA **13**

2.1 ENERGÍAS ALTERNATIVAS 13
2.1.1 Breve descripción de los distintos tipos de energías renovables *14*
2.1.2 Biomasa como fuente de energía alternativa *15*
2.1.3 Productos procedentes de la biomasa *17*
2.1.3.1 Biocombustibles sólidos 18
2.1.3.2 Biocombustibles gaseosos 18
2.1.3.3 Biocombustibles líquidos 18
2.2 BIODIESEL COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA 19
2.2.1 ¿Qué es el biodiesel? *19*
2.2.2 Química del biodiesel *21*
2.2.3 Proceso de obtención del biodiesel: transesterificación *23*
2.2.4 Materias primas *25*
2.2.5 Estándares de calidad del biodiesel *26*
2.2.5.1. Normativa IRAM 28
2.2.5.2. Normativa ASTM 28
2.2.5.3. Normativa europea 30
2.3 MATERIALES POLIMÉRICOS 31
2.3.1 Clasificación de polímeros *31*
2.3.2 Materiales comúnmente usados en o'rings *33*
2.3.2.1 VITON DuPont. Fluoroelastómero 33
2.3.2.2 Goma de nitrilo butadieno (NBR) 34
2.3.3 Materiales comúnmente usados en mangueras *35*
2.3.3.1 Politetrafluoroetileno – TEFLÓN DuPont (PTFE) 35
2.3.3.2 Caucho estireno-butadieno (SBR) 36
2.3.3.3 Policloruro de vinilo (PVC) 37
2.3.4 Material comúnmente usado en tanques de combustible *38*
2.3.4.1 Polietileno de alta densidad (PEAD) 38
2.4 ACEITES LUBRICANTES 39
2.4.1 Descripción del proceso de obtención *40*
2.4.2 Propiedades que brindan los aditivos *40*
2.4.3 Clasificación de los aceites lubricantes *41*
2.4.3.1 Clasificación SAE 41
2.4.3.2 Clasificación API 42
2.4.3.3 Aceites monogrado 43
2.4.3.4 Aceites multigrado 43
2.4.4 Variables para análisis de aceites *45*
2.4.4.1 Viscosidad: 45
2.4.4.2 Contaminación con agua: 45
2.4.4.3 Índice de viscosidad (IV): 46
2.4.4.4 Punto de inflamación: 46
2.4.4.5 Densidad: 46
2.5 EFECTOS DEL USO DE BIODIESEL 47
2.5.1 Compatibilidad de materiales poliméricos en contacto con biodiesel *49*
2.5.2 Compatibilidad de materiales metálicos en contacto con biodiesel *51*
2.5.3 Comportamiento del aceite de lubricación en contacto con biodiesel *52*

2.5.3.1 Efectos del Biodiesel en el funcionamiento del motor. 55

CAPÍTULO 3 57

METODOLOGÍA DE TRABAJO 57

3.1 INTRODUCCIÓN 57
3.2 COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES UTILIZADOS PARA LOS ENSAYOS 57
3.2.1 Combustible base 57
3.2.2 Biodiesel 58
3.2.3 Aceite 58
3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL: ENSAYO DE MATERIALES POLIMÉRICOS 58
3.3.1 Identificación de los cortes gasoil-biodiesel 58
3.3.2 Materiales poliméricos utilizados 58
3.3.3 Muestras para ensayo 59
3.3.3.1 Mangueras 59
3.3.3.2 O'rings 59
3.3.3.3 Probetas del tanque 59
3.3.4 Confección y rotulado de probetas 59
3.3.4.1 Mangueras 60
3.3.4.2 O'rings 60
3.3.4.3 Probetas de tanque 61
3.3.5 Preparación de los cortes para ensayos de inmersión 61
3.3.6 Ensayos de inmersión 62
3.3.6.1 Mediciones gravimétricas de muestras 62
3.3.6.2 Recolección y registro de datos 63
3.3.7 Ensayos de tracción 63
3.3.7.1 Caracterización mecánica. 63
3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL: ENSAYO DEL MOTOR 64
3.4.1 Características generales motor Pertrak. 64
3.4.2 Banco de pruebas 65
3.4.3 Condiciones de funcionamiento durante el ensayo 66
3.4.4 Extracción y análisis de muestras de aceite lubricante 66
3.4.5 Desarmado del motor post ensayo 66

CAPÍTULO 4 69

RESULTADOS DEL USO DEL BIODIESEL EN MATERIALES POLIMÉRICOS. 69

4.1 INTRODUCCIÓN 69
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 69
4.2.1 Ensayos de inmersión: comportamiento de absorción 69
4.2.1.1 Resumen de resultados 69
4.2.1.2 Variación de peso y tendencias de absorción 70
4.2.1.3 Discusión 77
4.2.2 Ensayos de tracción: comportamiento mecánico. 80
4.2.2.1 Resumen de resultados 80
4.2.2.2 Propiedades mecánicas 83
4.2.2.3 Discusión 92

CAPÍTULO 5 95

RESULTADOS DEL USO DEL BIODIESEL EN EL ACEITE LUBRICANTE. 95

5.1 INTRODUCCIÓN 95
5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 95
5.2.1 Viscosidad 95
5.2.2 Índice de viscosidad 97
5.2.3 Densidad 97
5.2.4 Agua por destilación 98
5.2.5 Punto de inflamación 99
5.3 EVALUACIÓN DE EFECTOS SOBRE PIEZAS METÁLICAS MÓVILES DEL MOTOR 99

CAPÍTULO 6 105

CONCLUSIONES **105**
CAPÍTULO 7 ..... **109**
BIBLIOGRAFÍA **109**
ANEXOS **115**
ANEXO A: RESULTADOS PESAJE DE PROBETAS 115
ANEXO B: RESULTADOS ENSAYOS DE TRACCIÓN 129

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Criterios de clasificación de biocombustibles 16
Cuadro 2: Propiedades del biodiesel de diversas materias primas [15] 20
Cuadro 3: Comparativa de estándares y valores de propiedades del biodiesel [25] 27
Cuadro 4: Métodos de ensayo y valores límites establecidos por la ASTM D 6571 [28] 29
Cuadro 5: Métodos de ensayo y valores límites establecidos por la ASTM D 7467 [28] 30
Cuadro 6: Métodos de ensayo y valores límites establecidos por la EN 14214 30
Cuadro 7: Comparación de las clases de polímeros 32
Cuadro 8: Propiedades físicas o'ring de FKM, color verde 34
Cuadro 9: Propiedades físicas o'ring de FKM, color marrón 34
Cuadro 10: Comportamiento químico y propiedades mecánicas del PEAD [39] 39
Cuadro 11: Materiales comúnmente usados en sistemas de combustible en motores diésel 48
Cuadro 12: Análisis de combustible ultradiésel de YPF 57
Cuadro 13: Análisis de aceite HD suplemento 1 58
Cuadro 14: Dimensiones probetas de mangueras 60
Cuadro 15: Dimensiones o'rings 60
Cuadro 16: Distribución de probetas en frascos 62
Cuadro 17: Contenido de gasoil y biodiesel en cada corte 62
Cuadro 18: Condiciones de ensayo motor Pertrak 66
Cuadro 19: Resumen de resultados, luego de 4248 horas de inmersión en diferentes cortes de gasoil-biodiesel 70
Cuadro 20: Resumen de resultados de propiedades mecánicas, luego de ensayos de tracción 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de fuentes de energía 14
Figura 2: Esquema de obtención de aceites y biodiesel a través del proceso de transesterificación 20
Figura 3: Estructura típica de una molécula de triglicérido 21
Figura 4: Reacción de transesterificación para producir biodiesel (ésteres) a partir de aceite (triglicéridos) 22
Figura 5: Contenido de ácidos grasos en distintos tipos de biodiesel 23
Figura 6: Esquema general para transesterificación de triglicéridos 24
Figura 7: Esquema del proceso de fabricación de biodiesel por metanización 25
Figura 8: Estructura molecular del NBR 35
Figura 9: a) Molécula de tetrafluoroetileno, b) Modelo bidimensional simple de un segmento de tetrafluoroetileno 36
Figura 10: Composición del caucho estireno butadieno 36
Figura 11: a) Molécula de cloruro de vinilo, b) Modelo bidimensional simple de un segmento de policloruro de vinilo 37
Figura 12: a) Molécula de etileno, b) Modelo bidimensional simple de un segmento de polietileno 38
Figura 13: Clasificación del aceite en función de la temperatura a la que está sometido durante el funcionamiento del motor 42
Figura 14: Comparativo entre aceites monogrado y multigrado 44
Figura 15: Diagrama esquemático del sistema de combustible de un motor diésel 47
Figura 16: Dimensiones de probetas tipo hueso del tanque de combustible 61
Figura 17: Preparación de los cortes para ensayo de inmersión 61
Figura 18: Dinamómetro Instron 4467 y dispositivos de sujeción para o´rings 64
Figura 19: Variación de peso, de mangueras fabricadas en distintos materiales 71
Figura 20: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para mangueras de PTFE 71
Figura 21: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para mangueras de tela-poliéster 72
Figura 22: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para mangueras de PVC 72
Figura 23: Variación de peso, de o'rings fabricados en distintos materiales 73
Figura 24: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de viton (verde grande) 74
Figura 25: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de viton (verde chico) 74
Figura 26: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de viton (marrón) 75
Figura 27: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de NBR 75
Figura 28: Variación de peso, de probetas fabricadas a partir de HDPE 76
Figura 29: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para probetas de HDPE 77
Figura 30: Carga máxima en función del corte de biodiesel, para distintos materiales 81
Figura 31: Tensión máxima en función del corte de biodiesel, para distintos materiales 81
Figura 32: Deformación a la rotura en función del corte de biodiesel, para distintos materiales 82
Figura 33: Módulo de Young en función del corte de biodiesel, para distintos materiales 82
Figura 34: Propiedades mecánicas manguera de tela-poliéster 83
Figura 35: Curvas σ-ε para probetas de Tela de Poliéster 84
Figura 36: Propiedades mecánicas manguera de PVC 85
Figura 37: Curvas σ-ε para probetas de PVC 85
Figura 38: Propiedades mecánicas o' ring de NBR. 86
Figura 39: Curvas σ-ε para o'rings de NBR 87
Figura 40: Propiedades mecánicas o' ring de vitón marrón 88
Figura 41: Curvas σ-ε para o'rings de viton marrón 88
Figura 42: Propiedades mecánicas o' ring de viton verde chico 89
Figura 43: Curvas σ-ε para o'rings de viton verde chico 89
Figura 44: Propiedades mecánicas o' ring de viton verde grande 90
Figura 45: Curvas σ-ε para o'rings de viton verde grande 90
Figura 46: Propiedades mecánicas probetas tipo hueso de HDPE 91
Figura 47: Curvas σ-ε para probetas tipo hueso de HDPE 92
Figura 42: Ensayo de viscosidad a T=40°C 96
Figura 43: Ensayo de viscosidad a T=100°C 96
Figura 44: Ensayo de índice de viscosidad 97

Figura 45: Ensayo de densidad _____ *98*
Figura 46: Ensayo de agua por destilación _____ *98*
Figura 47: Ensayo de punto de inflamación _____ *99*

RESUMEN

En el presente Trabajo Final de Grado se realizó un análisis acerca de la integridad de los materiales poliméricos involucrados en el circuito de combustible, típico de un automóvil, al estar en contacto con biodiesel. Además se estudiaron las propiedades físicas del aceite lubricante de un motor de combustión interna a compresión que opera con biodiesel como combustible.

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica en la cual se presentan cada uno de los temas involucrados, haciendo referencia a los materiales utilizados y ensayos realizados. También se hace referencia a trabajos de otros autores sobre estos temas.

Posteriormente, se explica la metodología del trabajo. Primero, el ensayo de inmersión realizado sobre las probetas de los polímeros con los diferentes cortes de Gasoil-Biodiesel. Éstas fueron medidas mediante gravimetría para establecer los porcentajes de absorción a través del tiempo. En segundo término se hace referencia a los ensayos de tracción realizados a las diferentes probetas anteriormente mencionadas. Por último se establecieron las condiciones del ensayo del motor Diésel con un corte de gasoil-biodiesel del 50%. A partir de esto, cada 10 horas de funcionamiento se extrajeron muestras de aceite para el posterior análisis de sus propiedades físicas.

Una vez establecidas las condiciones de ensayo, se procedió a mostrar los resultados obtenidos. Para el ensayo de inmersión se realizó un comparativo para los diferentes materiales y luego para cada uno en particular. En lo que respecta a los ensayos de tracción, se presentan para cada corte diferente de Gas oil-Biodiesel los resultados de la Carga de Rotura y la Deformación a la Rotura de cada grupo de probetas. Para el ensayo de larga duración del motor Diésel se analizó la integridad de las partes móviles a las cuales afecta la lubricación a partir de las propiedades Densidad, Punto de inflamación, Viscosidad y Agua por destilación.

Por último, se analiza cómo afecta a los polímeros la cantidad de biodiesel utilizada, adoptando criterios de usos máximos para cada tipo de material, en base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados en este trabajo.

Esta página se deja en blanco

CAPÍTULO 1

Breve descripción del problema y su importancia

1.1 Introducción

El cambio climático que ha sufrido el planeta a lo largo del último siglo, como consecuencia de la actividad humana, ha dado origen a graves problemas medioambientales, uno de ellos es el efecto invernadero. El mismo es el proceso mediante el cual ciertos gases de la atmósfera retienen gran parte de la radiación emitida por la Tierra y la remiten de nuevo a la superficie terrestre, calentándola. La mayoría de estos gases, como el dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3) y clorofluorocarbonos ($CFCL_3$), están normalmente presentes en la atmósfera debido a procesos naturales, manteniendo a la Tierra en equilibrio. Sin embargo, muchas actividades humanas, principalmente la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), han aumentado los niveles de estos gases en la atmósfera, especialmente del dióxido de carbono, lo que está produciendo el mayor y más rápido cambio climático de la historia.

Por otro lado, hay que tener en cuenta la dependencia que experimentan las economías desarrolladas o en vías de desarrollo respecto de las materias primas no renovables y contaminantes, las energías fósiles, ya que no está garantizado que la extracción de este tipo de energías pueda continuar creciendo sin agotar los yacimientos existentes. Si a esto le sumamos el hecho de que el proceso de extracción es cada vez más complejo y requiere de mayores inversiones, es de suma importancia buscar alternativas a dicha dependencia, que permitan la sustitución parcial o total por medio del aprovechamiento de energías naturales y no contaminantes.

Muchas son las alarmas que avisan de la irreversibilidad del uso masivo de dichos combustibles y de su responsabilidad en la destrucción del medio ambiente. Esto, combinado con las previsiones sobre el estado de las reservas de energías fósiles disponibles, ha hecho que en las últimas tres décadas se genere un fuerte interés en lograr una disminución en el consumo innecesario de combustibles fósiles y un mejor aprovechamiento de la energía. En este sentido, gobiernos y científicos de los países más avanzados están trabajando en el desarrollo de fuentes de energía alternativas, y los biocombustibles, más precisamente el biodiesel y el bioetanol para uso en automoción, se presentan como una de las opciones más interesantes, dado que este sector es el que más contribuye a las emisiones de CO_2.

1.2 Carácter del problema

El motor de combustión interna es una máquina ampliamente extendida a diferentes sectores, pero el motor de encendido por compresión o diésel es usado casi en exclusividad tanto para el transporte pesado y ligero de mercancías, colectivos de transporte dentro ciudades, locomotoras, generadores eléctricos, y en vehículos todo terreno. Además, en el último tiempo se ha extendido apreciablemente su uso en el sector de vehículos livianos. Los combustibles diésel tienen una función esencial en la economía industrial de un país.

Como ejemplo, puede nombrarse el caso de India, en donde el consumo es aproximadamente seis veces mayor que el de las gasolinas.

La alta demanda de energía en el mundo industrializado y en el sector doméstico, así como también los problemas de contaminación causados debido al uso generalizado de combustibles fósiles, hacen cada vez más necesario el desarrollo de las fuentes de energía renovables de duración ilimitada y más pequeño impacto ambiental. Teniendo en cuenta lo dicho hasta ahora, sumado a ciertas características favorables del biodiesel como son su carácter renovable, no toxicidad y propiedad libre de azufre, se ha promovido una cantidad considerable de investigaciones que se han enfocado en el uso de biodiesel en distintas proporciones para muchas aplicaciones, y en especial, en motores diésel. De esta forma, se reduciría considerablemente la dependencia sobre los combustibles fósiles, y también se estaría ayudado al problema de la contaminación ambiental.

Las propiedades de combustión que presentan los principales componentes del biodiesel, son similares a aquellas correspondientes a los combustibles diésel, y por esto, el rendimiento del motor difiere muy poco, presentándose como desventajas, una ligera pérdida de potencia combinado con un incremento en el consumo de combustible. Así, en este sentido, no habría necesidad de hacer modificaciones a los motores alimentados con cortes de biodiesel [1] [2]. Sin embargo, varios problemas prácticos han sido causados por el uso de este combustible en los motores diésel, y la compatibilidad con el biodiesel de los materiales tanto metálicos como plásticos, se convirtió en una de las mayores preocupaciones. Debido a su composición química, es más oxidante y causa un aumento en la corrosión y degradación de materiales. Algunos de los problemas operacionales que se encontraron, causados por las características inherentes del mismo, fueron corrosión de los componentes del sistema de inyección de combustible, obstrucción en el sistema de combustible de baja presión y en inyectores, depósitos en el motor y taponamiento de filtros, además de incompatibilidad con ciertos materiales poliméricos [3]. Esto último es de gran importancia, dado que en la actualidad se está tendiendo a un mayor uso de materiales plásticos en el automóvil, debido principalmente a que permiten una disminución de peso, mayor ahorro en combustible y facilidad de procesado. Esta tendencia se da particularmente a la hora de seleccionar materiales para la fabricación de componentes del sistema de inyección, ya que en comparación con los metales son más livianos, se ajustan más fácilmente y hacen posibles complicadas geometrías como tanques, válvulas, juntas y otros elementos [4]. Todas estas problemáticas dieron origen a numerosos estudios con el objetivo de determinar qué relación existe entre este biocombustible y distintos tipos de materiales. De esta forma se busca no solo investigar cuál es el efecto de su utilización, sino también poder entender y extraer conclusiones sobre la influencia de la materia prima utilizada y, por lo tanto, de su estructura molecular sobre la compatibilidad con los materiales. En esto se basó el trabajo de Lei Zhu et al. quienes estudiaron el comportamiento de un elastómero, el NBR, al estar en contacto con biodiesel proveniente de diferentes materias primas [5]. Llegaron a la conclusión de que la compatibilidad se vio fuertemente influenciada por la estructura molecular del combustible. Frame y McCormick trabajaron sobre el comportamiento de seis tipos de elastómeros en contacto con diésel, diésel mezclado con 15% de etanol, y diésel mezclado con 20% de biodiesel de soja [6]. Entre sus conclusiones se puede destacar el hecho de que los elastómeros estudiados en contacto con el corte B20, no experimentaron variaciones significativas en cuanto a dimensiones, volumen y cargas de rotura, con respecto a aquellos en contacto con el combustible diésel, por lo que parecería que existe buena compatibilidad.

Si bien son muchos los trabajos que se han realizado con el fin de comprender las interacciones que se llevan a cabo entre los materiales utilizados en automóviles con el biodiesel, y de esta forma poder establecer rangos o límites para su utilización práctica sin inconvenientes, la realidad es que se está lejos de tener un entendimiento completo sobre el tema [7]. Esto puede deberse a las siguientes razones:

- la diversa cantidad de materiales elastoméricos disponibles para la fabricación de los componentes
- la gran variedad de materias primas con las cuales puede producirse el biodiesel
- la sensibilidad que presenta el biodiesel a distintos factores como son, las condiciones y el tiempo de almacenamiento, su producción fuera de especificaciones, y tipo de materia prima y catalizador utilizado en su manufactura, entre otros.

Todo esto hace que todavía no se haya podido desarrollar una teoría general, y que los resultados y conclusiones se basen en casos particulares de estudio, a través de hechos experimentales. Como consecuencia, hay preocupaciones sobre el reemplazo total o parcial de los combustibles fósiles por los biocombustibles, a pesar de conocer las ventajas que esto conllevaría. Esto se ve reflejado en el hecho de que muchas automotrices no cubren en su garantía el uso de cortes con 50% de biodiesel o incluso menores.

Teniendo todo esto en cuenta, los objetivos del presente trabajo pueden definirse de la siguiente forma:

- Cuantificar los efectos que producen distintos cortes de gasoil-biodiesel, en distintos materiales poliméricos que comúnmente constituyen las partes y componentes del sistema de inyección de combustible y del motor
- Cuantificar los efectos causados por un corte gasoil-biodiesel B50, en el aceite de lubricación del motor.
- Describir cualitativamente el impacto del uso de un corte gasoil-biodiesel B50, sobre distintos componentes del motor y del sistema de inyección.

1.3 Motivación para abordarlo

Mientras que, desde el punto de vista técnico, respecto a su uso en automoción, los biocarburantes empleados en las condiciones actuales (corte del 10% de gasoil con biodiesel a partir del 1 de diciembre de 2014 [8]) tienen prestaciones similares a los combustibles fósiles que sustituyen, presentan numerosas ventajas en lo referente a aspectos medioambientales. No solo se reducen las emisiones de dióxido de carbono (CO2), contribuyendo de esta forma con el protocolo de Kioto, y de otros gases altamente contaminantes, sino que también se disminuye la contaminación de suelos, recursos hídricos y riesgos de toxicidad, por tratarse de un producto no tóxico y biodegradable. A todo esto, se deben sumar los beneficios energéticos que conllevan su uso y las ventajas socioeconómicas que pueden obtenerse. Todas estas son razones que justifican el hecho de realizar estudios para analizar la factibilidad de utilizar el biodiesel como un combustible alternativo.

Esta página se deja en blanco

CAPÍTULO 2

Revisión bibliográfica

2.1 Energías alternativas

Desde mediados del siglo XX, con el crecimiento de la población, la extensión de la producción industrial, y el uso masivo de tecnologías, comenzó a crecer la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo y el deterioro ambiental. Desde entonces, se impulsó el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables y menos contaminantes, como la luz solar, las mareas, el agua y la biomasa.

Los combustibles fósiles han sido la fuente de energía empleada durante la revolución industrial, pero en la actualidad presentan fundamentalmente dos problemas: por un lado son recursos finitos, y se prevé el agotamiento de las reservas (especialmente de petróleo) en plazos más o menos cercanos, en función de los distintos estudios publicados. Por otra parte, la quema de estos combustibles libera a la atmósfera grandes cantidades de CO2, que ha sido acusado de ser la causa principal del calentamiento global. Por estos motivos, se estudian distintas opciones para sustituir la quema de combustibles fósiles por otras fuentes de energía carentes de estos problemas.

Como su nombre lo indica, las energías alternativas son aquellas fuentes de energía diferentes de las tradicionales. Algunos definen a las energías alternativas como equivalentes a las energías renovables, mientras que otras definiciones más amplias consideran energías alternativas a aquellas fuentes que no implican la quema de combustibles fósiles, como el carbón, gas y petróleo. En este caso, además de las energías renovables, también estaría incluida la energía nuclear, ya que pese a generar residuos radioactivos, no contribuye al efecto invernadero por sus bajas emisiones de gases contaminantes. No todos coinciden en clasificar la energía nuclear dentro de las energías alternativas, pues al igual que los combustibles fósiles, se trata de un recurso finito, y además presenta problemas medioambientales importantes, como la gestión de los residuos radiactivos o la posibilidad de un accidente nuclear.

Teniendo en cuenta esto, y tratando de englobar todas las definiciones posibles de energías alternativas, se podrían resumir del siguiente modo, asumiendo como criterio dos cuestiones: si las mismas son contaminantes o energías limpias, y su carácter de renovables.

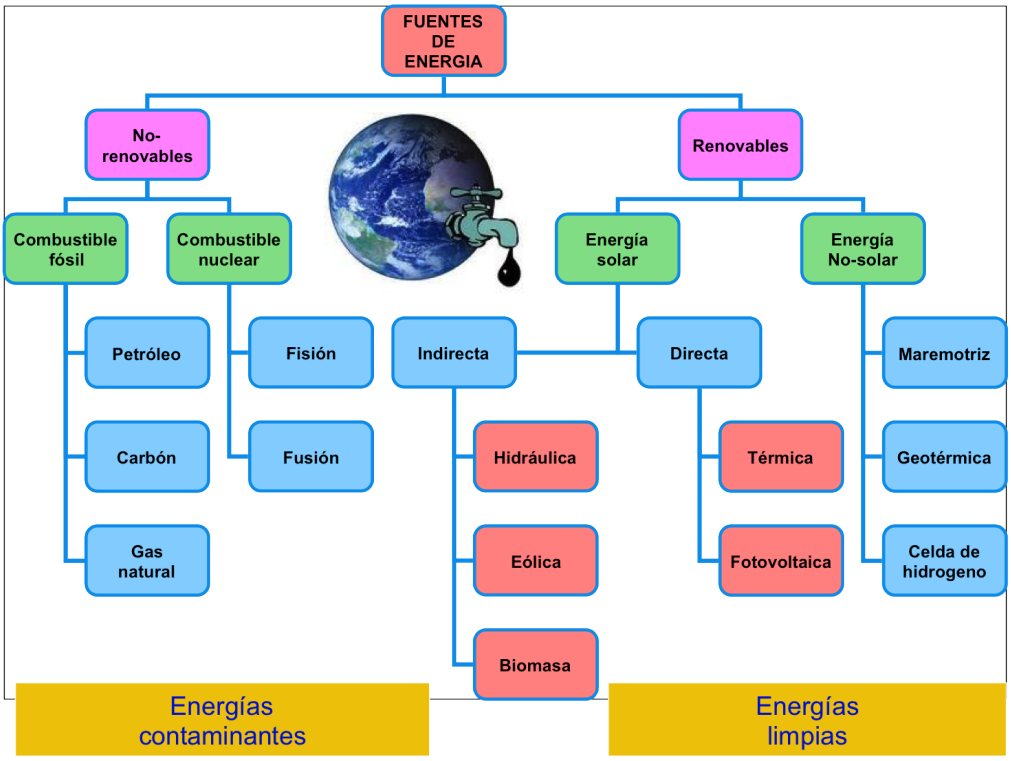


Figura 1: Clasificación de fuentes de energía

2.1.1 Breve descripción de los distintos tipos de energías renovables

Las energías renovables pueden ser clasificadas en dos grupos: la solares y las no solares. En el primer caso, dicha energía es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioletas principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. En nuestro planeta incide una cantidad de energía solar que es, aproximadamente, cuatro órdenes de magnitud mayor que nuestra actual tasa de uso de combustibles fósiles y nucleares. El aprovechamiento en forma directa de este tipo de energía puede darse de dos maneras:

- ***Energía solar térmica:*** consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido. Los dispositivos utilizados para el calentamiento del mismo se conocen como colectores. Éstos usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar, transferirlo a un fluido y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios e instalaciones o también para la producción de electricidad (solar termoeléctrica). Dichos dispositivos se clasifican en colectores de baja, media y alta temperatura.
- ***Energía solar fotovoltaica*:** consiste en la transformación directa de la energía luminosa en energía eléctrica, mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Éstas, convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica.

Por otra parte, el viento, las olas y la biomasa, no son más que manifestaciones indirectas de la radiación solar, por lo cual también se consideran dentro del grupo de las energías solares. El aprovechamiento de éstas se realiza de la siguiente forma:

- ***Energía hidráulica*:** consiste en el aprovechamiento de la energía potencial producida por la caída del agua desde una determinada altura para producir electricidad. Su funcionamiento se basa en hacer pasar el agua por una turbina, convirtiendo la energía potencial en energía mecánica, y por último la turbina transmite la energía a un generador donde se transforma en electricidad.
- ***Energía eólica:*** proviene de la conversión de la energía cinética que traen las masas de aire en movimiento hacia energía mecánica y luego a energía eléctrica. Para conseguir esta conversión se utilizan máquinas llamadas aerogeneradores. Un aerogenerador está conformado, básicamente, por dos elementos principales: por un lado, un rotor compuesto por un eje y las palas que son accionadas por el viento y, p*or* el otro, un generador que se mueve por arrastre del rotor.
- ***Biomasa*:** La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

Dentro del grupo de energías renovables no solares, podemos mencionar la mareomotriz, la geotérmica y las celdas de hidrógeno. El aprovechamiento de las mismas se obtiene de la siguiente manera:

- ***Mareomotriz****:* La energía mareomotriz es aquella energía que aprovecha el ascenso y descenso del agua del mar producido por la acción gravitatoria del sol y la luna. Diques, construidos en estuarios adecuados, se diseñan para extraer energía de la subida y bajada de las mareas, utilizando turbinas localizadas en conductos que atraviesan los diques. La energía potencial, originada por la diferencia del nivel del agua en los diques, se convierte en energía cinética debido al rápido movimiento del agua al pasar a través de las turbinas. Las palas o álabes de las turbinas, al girar, convierten la energía cinética del agua en mecánica de rotación, la cual permite accionar un generador para producir electricidad.
- ***Geotérmica:*** Esta energía corresponde a la energía calorífica contenida en el interior de la Tierra, que se transmite por conducción térmica hasta la superficie. La explotación de esta fuente de energía se realiza perforando el suelo y extrayendo el agua caliente. Si su temperatura es suficientemente elevada, el agua saldrá en forma de vapor de agua y se podrá aprovechar para accionar una turbina.
- ***Celdas de hidrógeno*:** Es un dispositivo electromecánico que convierte continuamente energía química en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica.

2.1.2 Biomasa como fuente de energía alternativa

Se designa como biomasa a un conjunto de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza y composición, que puede emplearse para obtener energía. Esta fuente de energía se basa en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica o en los productos derivados de ella. La biomasa como materia orgánica formada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso de fotosíntesis. Además, su formación no lleva miles de años, por lo tanto la tasa de utilización no es mucho mayor a la de su formación.

La energía se obtiene al romperse los enlaces de los compuestos orgánicos, ya sea por combustión directa de biomasa o de productos obtenidos de ella, para dar dióxido de carbono y agua como productos finales. Actualmente, proporciona una fuente de energía, adicional a la de los combustibles fósiles y a las otras fuentes disponibles, con la cual se logra una importante disminución en la emisión de gases de efecto invernadero [9].

Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos, en general se denominan biocombustibles, y particularmente para hacer referencia a los sólidos y gaseosos que se utilizan con fines térmicos y eléctricos. El nombre de biocarburantes, se reserva para aquellos biocombustibles líquidos, que se utilizan en automoción.

Se utilizan diferentes criterios para clasificar los biocombustibles que pueden obtenerse a partir de la biomasa. En el cuadro 1, se describe en base al criterio y su clasificación, los métodos de obtención correspondientes, las materias primas y los productos finales.

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	MÉTODO DE OBTENCIÓN	MATERIA PRIMA	PRODUCTO
Proceso de transformación de biomasa en biocombustible	Transformación física	Transformaciones físicas antes de la combustión	Madera, paja, residuos de otras actividades que emplean biomasa	Biocombustibles en general
	Fermentación	Fermentación anaeróbica	Mezcla de azúcares y agua	Alcohol con concentración de agua para empleo como carburante
	Transesterificación	Transesterificación de triglicéridos con metanol	Aceites vegetales y grasas animales	Mezcla de ésteres con comportamiento similar al diésel
	Metanización	Metanización de residuos	Residuos orgánicos	Biogás y un sólido que puede utilizarse como abono de los suelos
Generaciones	1era generación	Fermentación	Materia prima de uso alimenticio (caña de azúcar, maíz, soja, girasol)	Etanol
		Transesterificación		Biodiesel
	2da generación (no tiene usos en alimentación)	Fermentación	Materia prima tipo herbáceo o leñoso (celulosa)	Etanol
		Transesterificación	Semillas oleaginosas no comestibles (jatrofa, cardo), algas y aceites usados	Biodiesel
		Métodos termoquímicos	Materias primas de los 2 casos anteriores	Biocombustibles sintéticos líquidos
	3era generación	Técnicas de biología molecular	Cultivos bioenergéticos, cultivos diseñados o adaptados para mejorar la conversión de biomasa	Biocarburantes
	4ta generación	Técnicas de biología molecular	Ídem anterior, pero se le suma la capacidad tanto de la materia prima como del proceso de transformación, de mejorar la captura y almacenamiento de CO2	Biocarburantes

Cuadro 1: Criterios de clasificación de biocombustibles

El empleo de la biomasa se presenta como una opción atractiva, principalmente por tres razones. Primero, es un recurso renovable que puede ser desarrollado sustentablemente en el futuro. Segundo, como fuente de energía aporta una serie de posibles ventajas como el balance positivo de CO2 y de energía, y la utilidad de suelos anteriormente no productivos. Y tercero, parece tener un potencial económico significativo, dado el aumento que podría darse en el precio de los combustibles fósiles en el futuro [10].

Ventajas en el uso de la biomasa

- **Beneficios energéticos:**
  - Son una fuente de energía renovable
  - Suponen una alternativa viable a los combustibles fósiles, cuyas reservas son limitadas
  - Tienen un balance de energético positivo
  - Fomentan la revalorización energética de residuos
- **Beneficios medioambientales**
  - Reducción de las emisiones de CO2 debido a la recuperación del CO2 atmosférico en la fase de cultivo
  - Reducción de las emisiones de óxidos de azufre, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC), partículas e hidrocarburos aromáticos
  - Disminución de la contaminación de suelos y recursos hídricos y riesgos de toxicidad, por tratarse de productos no tóxicos y rápidamente biodegradables
  - Disminución de los fenómenos de erosión y desertización de suelos rústicos, por fomentar cultivos energéticos
  - Eliminación de residuos contaminantes, como los aceites usados
- **Ventajas socioeconómicas**
  - Compatibilidad con las actuales estructuras de distribución de carburantes
  - Disminución de la dependencia del petróleo y de las fuentes tradicionales de energía
  - Desarrollo de un recurso autóctono, que reduce la dependencia del exterior

Cuando se habla de balance de CO2, se hace referencia al hecho de que se generan emisiones de este gas cuando se produce la combustión de los biocombustibles (y de la biomasa en general). Si estas emisiones equivalen al carbono que previamente habían consumido las plantas durante el proceso de fotosíntesis, se dice que el uso de la biomasa es neutro en términos de emisiones (ya que se igualan la retención y la liberación de CO2 equivalente), o positivo en el caso de que estas emisiones sean menores. Por otro lado, se tiene que el balance neto de energía (BNE), es muy variable e inferior al de los combustibles fósiles cuyo valor ronda en 50. Mientras que esta relación es elevada cuando se obtiene directamente de la biomasa, valores superiores a 10, en el caso del biodiesel es próximo a 2. Todos estos valores son orientativos, ya que dependen de la materia prima y de la tecnología empleada [11].

Si bien son claros los beneficios del uso de la biomasa, el análisis no es tan sencillo como parece, ya que, para la obtención de energía, se pueden ver involucrados una cierta cantidad de procesos que invaliden todo lo dicho anteriormente. En algunos casos la operación puede ocasionar una emisión de CO2 superior a la que resultaría de consumir energía fósil, y en otros, podría ocurrir que el aporte de energía para su obtención sea mayor que la obtenida a partir del producto derivado de la biomasa. Aun así, esta fuente de energía presenta un gran potencial para ser desarrollado.

2.1.3 Productos procedentes de la biomasa

Además de los beneficios mencionados anteriormente generados por el aprovechamiento de la biomasa, ésta tiene la ventaja particular respecto del resto de las fuentes de energía renovables, de ser la única capaz de proveer combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, que pueden ser almacenados, transportados y utilizados lejos de su lugar de origen.

2.1.3.1 Biocombustibles sólidos

Mediante la combustión de esta biomasa, se obtiene energía que se aprovecha directamente como energía térmica o se transforma en energía eléctrica. El poder calorífico inferior, variable con la humedad del combustible, es la característica principal de su calidad. Aunque una parte importante de esta biomasa se utiliza directamente, como es el caso de la leña, las nuevas aplicaciones de los biocombustibles sólidos se basan en un tratamiento capaz de acondicionarla a los requerimientos de la demanda. Existen una gran variedad de estos combustibles siendo los más empleados para sistemas de calefacción la leña, astillas, pellets, briquetas, carbón vegetal y los residuos agroindustriales.

2.1.3.2 Biocombustibles gaseosos

Los biocombustibles gaseosos son aquellos combustibles de origen no fósil obtenidos a partir de la descomposición de materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno. A partir de la biomasa se pueden obtener varios combustibles gaseosos, como el biogás, gas de gasógeno y gas de síntesis e hidrógeno. El hidrógeno es un vector energético, cuya combustión produce agua y gran cantidad de energía (27000 kcal/kg) por lo que resulta idóneo para aplicaciones industriales, domésticas y de transporte. El proceso de obtención se denomina ‘’reformado’’ que consiste en romper las moléculas hidrocarbonadas mediante reacciones con vapor de agua en presencia de un catalizador. Los inconvenientes de este combustible son de carácter logístico, debido a su inflamabilidad y baja densidad. La alternativa de licuarlo conlleva un alto consumo energético y grandes inversiones para su distribución directa. Su utilización se justifica fundamentalmente por razones ambientales, por lo que las fuentes de energía renovables constituyen la materia prima ideal para obtenerlo. El biogás se obtiene por la aplicación del método de fermentación anaeróbica a la biomasa, originando unos 300 m^3 por tonelada de materia seca, con un poder calorífico de 5500 kcal/m^3. Está formado principalmente por metano y dióxido de carbono, y en menores proporciones nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. El poder calorífico del biogas está determinado por la concentración de metano, y para aumentar este parámetro es necesario eliminar todo o parte del CO2 que lo acompaña. Sus aplicaciones son las mismas que las del gas natural, es decir, generación de calor, electricidad, combustible para vehículos o como materia prima para la industria química. Hay que tener en cuenta, que para cualquiera de sus aplicaciones, el biogas debe someterse a un proceso de refinado cuya complejidad depende de su procedencia y de su uso. Otro biocombustible gaseoso, es el gas de síntesis obtenido mediante el proceso de gasificación. Este consiste en un proceso termoquímico que convierte un combustible sólido, por oxidación parcial a elevada temperatura, en un gas portador de energía. Al someter la biomasa a altas temperaturas y con defecto de oxígeno se producen reacciones de pirolisis, de oxidación y de reducción que originan productos gaseosos, N2, CO, H2, Ch4, CO2, cuyo poder calorífico es bajo (algo mayor de 1.000 kcal/m^3) y su destino es, la producción de calor por combustión directa en un quemador o la generación de energía eléctrica o mecánica por medio de un motor o una turbina. En la actualidad los procesos de gasificación avanzada son los más prometedores para la generación de electricidad con alta eficiencia mediante ciclos combinado de turbina de gas y ciclo de vapor.

2.1.3.3 Biocombustibles líquidos

La denominación de biocombustibles líquidos o biocarburantes, se aplica a una serie de productos de origen biológico utilizables como combustibles de sustitución de los derivados de petróleo o como aditivos de éstos para su uso en motores. Actualmente, solo son comerciales los de primera generación, etanol y biodiesel. En ambos casos, las

materias primas de las que proceden tienen también uso alimentario, y evitar que la obtención de los biocarburantes compita con las fuentes de alimentación, es una de las razones que guían el trabajo para disponer de biocarburantes de segunda generación.

Un porcentaje muy elevado de los vehículos de automoción se mueve por la acción de los motores de combustión interna alternativos (MCIA), y en función del tipo de motor al que se aplican, los biocarburantes se clasifican en dos grandes grupos:

- **Biocarburantes para motores Otto o de gasolina**: bioetanol, biometanol, etil-terbutil-eter (ETBE), metil-ter-butil-eter (MTBE), etc.
- **Biocarburantes para motores diésel:** aceites vegetales, ésteres metílicos o etílicos derivados de aceites y grasas (biodiesel), E-diésel, etc.

Entre los combustibles mencionados, se puede afirmar que los biocarburantes más importantes son el bioetanol y el biodiesel.

2.2 Biodiesel como fuente de energía alternativa.

La idea de usar aceites vegetales como combustible, ya había sido planteada hace más de un siglo. Los primeros motores automotrices modernos fueron desarrollados a partir de la segunda mitad del siglo XIX, y para 1893, Rudolf Diésel había patentado un nuevo motor de combustión interna que funcionaba con aceite de cacahuate [12]. Éste fue presentado en la Exposición Universal de Paris en 1900 con el cual se pretendía potenciar la agricultura como fuente de energía. Hasta principios del siglo XX, se utilizaban dos tipos de combustible, los derivados del petróleo y los biocombustibles. Sin embargo este último, fue perdiendo interés dado el fuerte desarrollo de la industria petroquímica, con lo cual se favoreció la explotación y comercialización de los derivados del petróleo y la tecnología que los ocupa, entre ellas el motor diésel.

Lo que actualmente se conoce como biodiesel, fue utilizado por primera vez en motores automotrices en Europa a partir de la segunda guerra mundial, dado los problemas de abastecimiento de productos petrolíferos, que se generaron durante ese período. Luego de la segunda guerra mundial, el desarrollo tecnológico en el campo de los motores diésel se intensifica y se basa en el diésel derivado del petróleo, barato y con características muy precisas. Como consecuencia, se abandona el empleo de los aceites vegetales como combustible para los motores diésel, que resultaban más costosos y ofrecían características fisicoquímicas menos constantes.

Pero no fue hasta finales de la década de los 70's y principios de los 80's [13], motivado por la crisis del petróleo del 73', que la preocupación por los altos precios del petróleo motivó la experimentación de la técnica de obtención de biodiesel de una gran variedad de aceites vegetales y grasas animales en la búsqueda de fuentes alternativas de energía.

2.2.1 ¿Qué es el biodiesel?

El biodiesel es por definición un biocarburante o biocombustible líquido producido a partir de aceites vegetales (incluso los aceites usados pueden ser utilizados como materia prima) o grasas animales, siendo la soja, la colza y el girasol, las materias primas más utilizadas mundialmente para este fin. Químicamente y de acuerdo a la norma ASTM [14], se define al biodiesel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se pueden emplear en motores de ignición de compresión, o sea, motores diésel. Es decir, un combustible alternativo de combustión limpia hecho con grasa o aceite, que se ha sometido a un proceso químico para extraerle la glicerina. El término biodiesel alude al combustible

puro –denominado B100–. El B100 puede usarse en estado puro, pero se usa con mayor frecuencia como aditivo para el combustible diésel convencional.

Los ésteres más utilizados son los de etanol y metanol, obtenidos a partir del proceso de transesterificación.

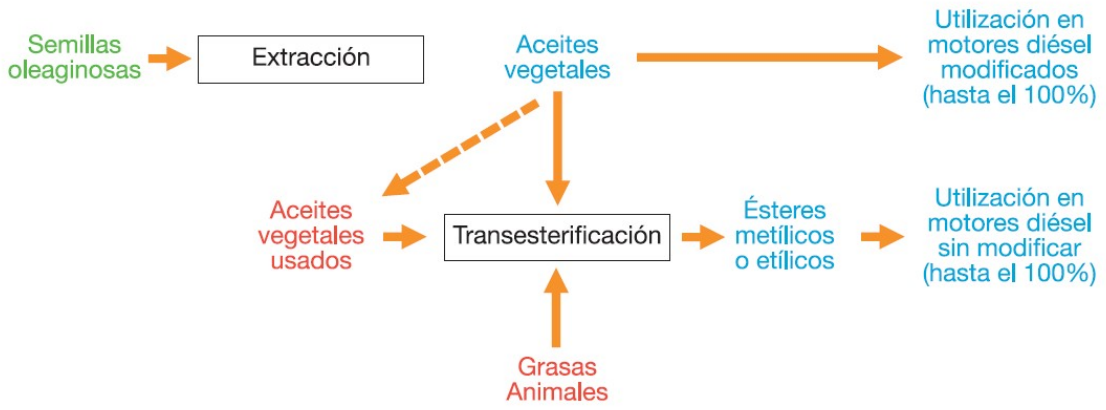


Figura 2: Esquema de obtención de aceites y biodiesel a través del proceso de transesterificación

Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasoil de automoción (diésel) en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por ello, el biodiesel puede mezclarse con el gasoil para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente. En contraposición, genera un torque y potencia ligeramente inferiores, y produce además un consumo mayor de combustible que el diésel. En el siguiente cuadro se indican algunas de las propiedades del biodiesel, proveniente de diferentes materias primas:

Propiedades del biodiesel

Éster metílico aceite vegetal	Viscosidad cinemática @ 37,8 °C mm2/s	Número de Cetano	Poder calorífico inferior MJ/l	Punto de nube °C	Punto de congelamiento °C	Punto de inflamación °C	Densidad gm/ml	Residuo de carbón p,%	Corrosión a la lámina de cobre
Maní	4.9	54	33.6	5	–	176	0.883	–	–
Soja	4.5	45	33.5	1	−7	178	0.885	1.74	1a
Babasu	3.6	63	31.8	4	–	127	0.879	–	–
Palma	5.7	62	33.5	13	–	164	0.880	–	–
Girasol	4.6	49	33.5	1	–	183	0.860	–	–
Sebo	–	–	–	12	9	96	–	1.83	1a

Cuadro 2: Propiedades del biodiesel de diversas materias primas [15]

En cuanto a la utilización del biodiesel como combustible en automoción, las características de los ésteres son más parecidas a las del gasoil que las del aceite vegetal sin modificar. El uso de aceites vegetales brutos como combustible en motores diésel, origina diversos problemas tales como, taponamiento de filtros, líneas e inyectores, depósitos de carbón en la cámara de combustión (inyector, pistón y culata), excesivo desgaste del motor y degradación del aceite lubricante por polimerización. La alta viscosidad de estos aceites vegetales parece ser el principal problema en la ignición por compresión, dado que la misma oscila entre 10 y 20 veces más que la del diésel [16]. Esto interfiere en el proceso de inyección y provoca una pobre atomización del combustible.

Como solución a esos problemas se han planteado diversas alternativas:

- Crear motores completamente nuevos para los combustibles alternativos
- Modificar los motores actuales para que se adapten a los combustibles alternativos (motores con precámara o motores con sistema de precalentamiento de combustible)
- Utilizar los motores actuales, modificando los combustibles alternativos

La tercera opción es la de mayor difusión actualmente y se logra mediante varios procesos cuyo objetivo es rebajar la viscosidad de los aceites vegetales a valores cercanos al diésel de origen fósil, para poder ser usados en motores diésel. Se han planteado 4 técnicas para conseguirlo [17]:

- Mezclas de aceite diésel
- Microemulsión
- Pirólisis
- Transesterificación

La transesterificación parece ser la alternativa más viable, la más estudiada y la que mejores resultados ha ofrecido hasta la fecha. Schwab et al. [18], realizaron estudios experimentales sobre la producción de biodiesel a partir de los métodos antes nombrados. La transesterificación de ésteres metílicos logró propiedades que se comparan razonablemente bien a las del diésel, siendo este método el que mejores resultados obtuvo.

Hoy en día, gran parte del biodiesel es producido a partir de aceite de soja, y el alto valor que éste tiene como producto alimenticio hace que la producción rentable del combustible sea un gran desafío.

Los combustibles diésel alternativos, deben ser técnicamente aceptables, económicamente competitivos, amigables con el medioambiente y fácilmente disponibles. Desde el punto de vista de estos requisitos, los triglicéridos (aceites vegetales y grasas animales) y sus derivados pueden ser considerados como alternativas viables a los combustibles diésel.

2.2.2 Química del biodiesel

Los constituyentes básicos de los aceites vegetales y grasas animales son los triglicéridos. En la Figura 3 puede observarse una molécula típica de los mismos. Los aceites vegetales comprenden 90 a 98% de triglicéridos, y una pequeña cantidad de monoglicéridos y diglicéridos. Los triglicéridos son ésteres de tres ácidos grasos y un glicerol. Éstos contienen cantidades sustanciales de oxígeno en sus estructuras. Los ácidos grasos varían en la longitud de su cadena de carbono y en el número de dobles enlaces. Los aceites vegetales también contienen ácidos grasos libres, pero en una proporción mucho menor, la cual ronda entre el 1 al 5% [15].

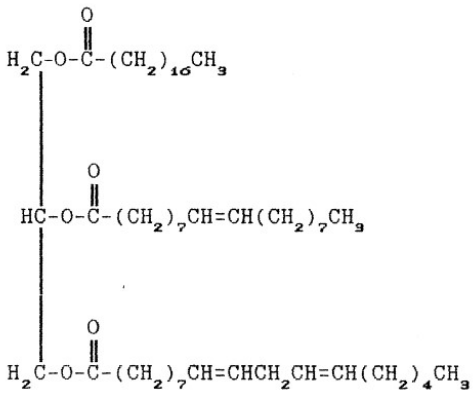


Figura 3: Estructura típica de una molécula de triglicérido

En la Figura 4, R1, R2 y R3 representan las cadenas hidrocarbonadas (con más de 10 átomos de carbono) de los ácidos grasos de los triglicéridos. Los glicéridos son los que hacen que el aceite sea más espeso, y por lo tanto son causa de una mayor viscosidad. Con el objetivo de reducir la viscosidad para que el combustible sea utilizable en un motor diésel, el aceite puro es convertido desde un triglicérido de aceite natural a tres ésteres monoalquilos (tres moléculas de carbono de cadena larga) mediante un proceso denominado transesterificación [19]. En la Figura 4 se observa un esquema de una reacción de transesterificación, en donde se muestran los productos resultantes:

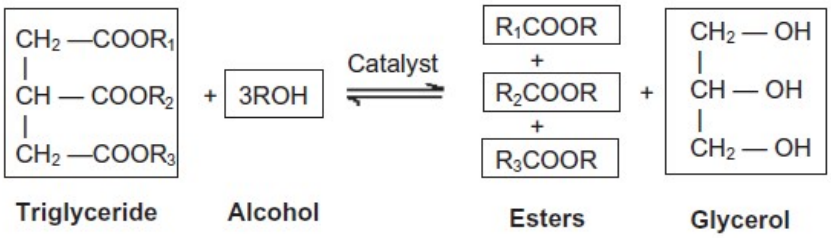


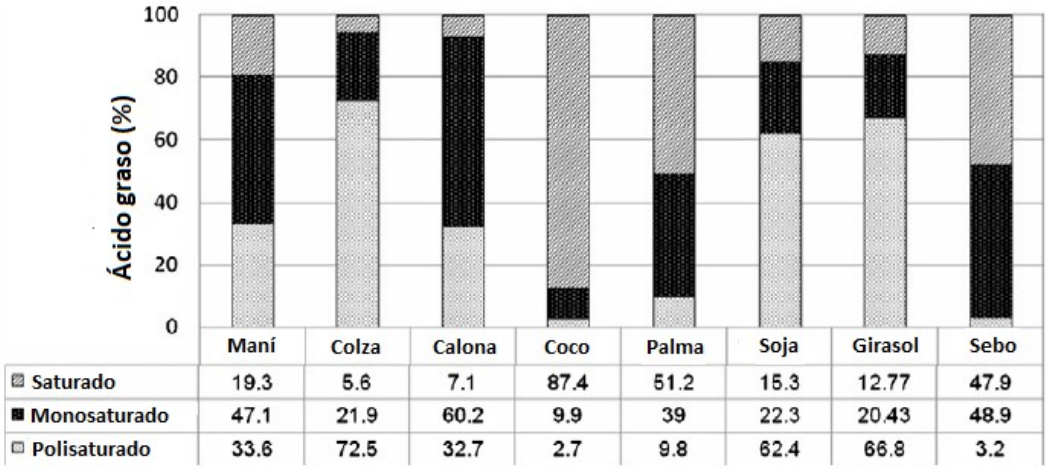
Figura 4: Reacción de transesterificación para producir biodiesel (ésteres) a partir de aceite (triglicéridos) [19]

El glicerol es removido como un subproducto y los ésteres obtenidos se conocen con el nombre de biodiesel. El contenido total de los mismos, es una medida de cuán completa es la reacción de transesterificación, siendo la presencia de ésteres monoalquilos convertidos completamente, el mayor requerimiento para lograr un biodiesel de calidad. Además, son los responsables de que el biodiesel logre propiedades similares al combustible fósil. Un biodiesel con un grado bajo de conversión de los mismos, afecta los parámetros de rendimiento del motor y su durabilidad [20]. Esto está asociado a que los triglicéridos no convertidos, pueden polimerizarse y acumularse en las líneas de combustible, causando taponamiento de estas líneas y como consecuencia, pérdida de potencia y en última instancia, daños en el motor.

Hoy en día, el estándar más utilizado es el establecido por la norma ASTM D6751-03. En el proceso de determinar un biodiesel de calidad, la ASTM identificó los siguientes parámetros como críticos: reacción completa de los ésteres monoalquilos, la eliminación de glicerol libre, la eliminación de los catalizadores residuales, la eliminación del alcohol reactivo, y la ausencia de ácidos grasos libres [21]. Para cumplir con la norma, el biodiesel debe satisfacer especificaciones de una secuencia de pruebas que incluyen: punto de inflamación, punto de enturbiamiento, cantidad de agua y sedimentos, viscosidad cinemática, contenido de sulfuro, cenizas sulfatadas, corrosión al cobre, número de cetano, residuos de carbono, número ácido, glicerina libre, glicerina total, contenido de fósforo y temperatura de destilación.

El contenido de ésteres para distintos tipos de biodiesel depende de la materia prima utilizada para su producción, y esto junto con el grado de refinamiento, afectan las propiedades del mismo. Las diferencias encontradas entre el petrodiesel y el biodiesel, pueden ser atribuidas principalmente a la diferencia en su estructura química. El petrodiesel está compuesto de cientos de componentes que hierven a diferentes temperaturas (determinado por el proceso de refinamiento del petróleo y de la materia prima del crudo), mientras que el biodiesel contiene solo unos pocos componentes, principalmente ésteres alquilos de cadena larga de carbono C16 a C18 (determinado por la materia prima).

El Biodiesel obtenido de diferentes fuentes, contiene distintos tipos y cantidades de ácidos grasos saturados y no saturados. Los ácidos grasos no saturados con dobles enlaces en sus estructuras, son más susceptibles a la oxidación.



	Maní	Colza	Calona	Coco	Palma	Soja	Girasol	Sebo
Saturado	19.3	5.6	7.1	87.4	51.2	15.3	12.77	47.9
Monosaturado	47.1	21.9	60.2	9.9	39	22.3	20.43	48.9
Polisaturado	33.6	72.5	32.7	2.7	9.8	62.4	66.8	3.2

Figura 5: Contenido de ácidos grasos en distintos tipos de biodiesel

En la Figura 5 puede observarse que el biodiesel de soja es uno de los que mayor cantidad de ácidos grasos no saturados contiene, y esto hace que sea más susceptible a la oxidación [7].

2.2.3 Proceso de obtención del biodiesel: *transesterificación*

Los problemas principales asociados al uso directo del aceite de soja (y de los aceites vegetales y grasas animales en general) como combustible en los motores diésel, son causados principalmente por su alta viscosidad (aproximadamente 10-20 veces mayor que la del combustible diésel) y baja volatilidad, lo que causa una pobre combustión. El proceso de transesterificación genera una reducción significante de la viscosidad, mejorando de este modo las propiedades físicas de estos combustibles renovables, y por lo tanto el rendimiento del motor.

En un sentido amplio, la transesterificación implica tres grupos diferentes de reacciones según un éster reaccione con un alcohol (alcoholisis), con un ácido carboxílico (acidólisis) o con otro éster (interesterificación). A través del proceso de transesterificación de los aceites vegetales o grasas animales con un alcohol de bajo peso molecular (normalmente metanol o etanol) y en presencia da un catalizador adecuado a baja presión y temperatura (su función es la de acelerar la reacción), se obtienen ésteres metílicos de ácidos grasos –biodiesel- y glicerina [22]. Los primeros son compuestos oxigenados con características similares en su comportamiento a las del diésel, principalmente en lo referente a la viscosidad, temperatura de ebullición, residuo carbonoso y número de cetano, entre otras propiedades.

La transesterificación de los triglicéridos produce ésteres alquilos de ácidos grasos y glicerina. La capa de glicerina se deposita en la parte inferior del recipiente de reacción. Los diglicéridos y los monoglicéridos son los productos intermedios en este proceso. El mecanismo de transesterificación es descripto en la Figura 6 [23].

Las reacciones escalonadas son reversibles, y se utiliza un poco de alcohol en exceso para desplazar el equilibrio hacia la formación de ésteres.

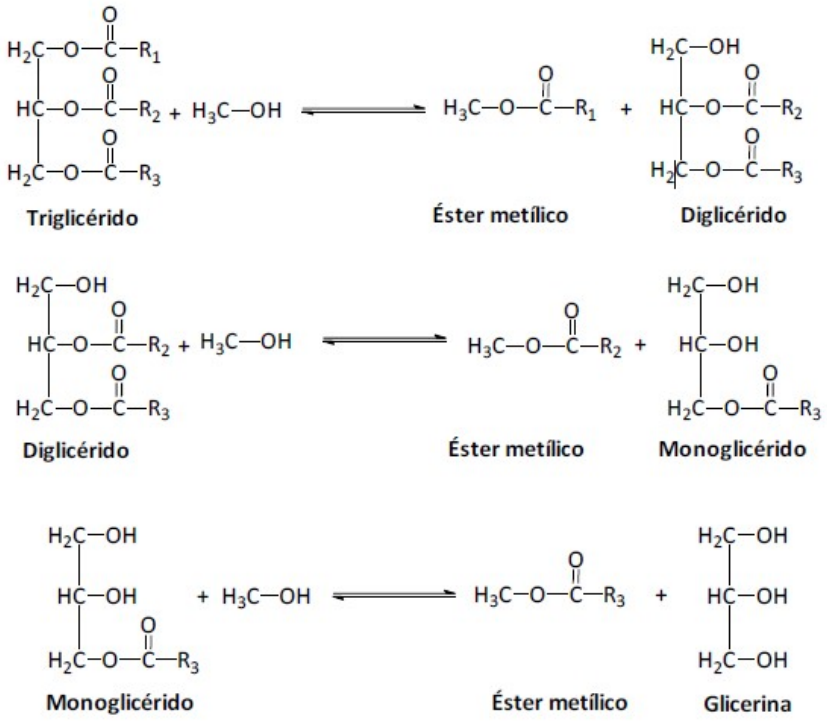


Figura 6: Esquema general para transesterificación de triglicéridos

El primer paso es la conversión de triglicéridos en diglicéridos, seguido de la conversión de diglicéridos a monoglicéridos, y de monoglicéridos a glicerol, produciendo una molécula de éster metílico de cada glicérido en cada paso. Como consecuencia de lo anterior, durante el proceso se liberan tres moléculas de ésteres metílicos, es decir, tres moléculas de biodiesel. La conversión de triglicéridos en ésteres metílicos a través del proceso descripto, reduce el peso molecular a un tercio del de los triglicéridos, reduce la viscosidad en un factor de aproximadamente 8, y aumenta el margen de volatilidad [15].

El proceso de transesterificación y la viabilidad de que la reacción se pueda llevar a cabo, se ven afectados por las condiciones de reacción, cantidad de ácidos grasos libres y humedad, la relación molar del alcohol y el aceite, tipo de alcohol, tipo y cantidad del catalizador, temperatura y tiempo de reacción, y pureza de los reactivos [23].

En la fabricación del biodiesel, una etapa fundamental tras la reacción, es la de separación del producto principal del resto de subproductos que se encuentran en el medio, especialmente, de la glicerina y el metanol residual. En el proceso convencional, esto se hace usualmente mediante un lavado con agua y una destilación del producto final.

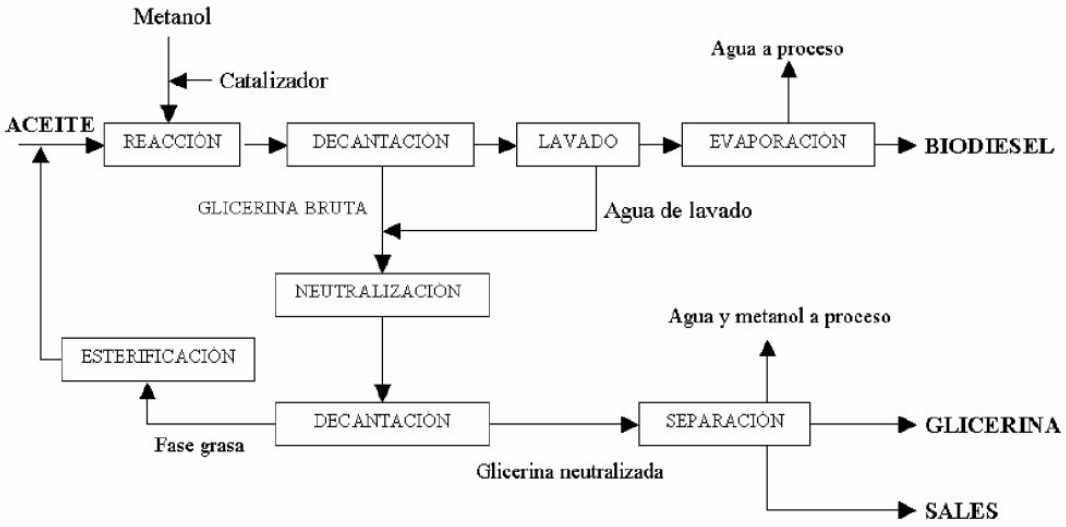


Figura 7: Esquema del proceso de fabricación de biodiesel por metanización

El aceite vegetal de características conocidas, reacciona a temperaturas moderadas (65°C) con metanol –usualmente es el alcohol preferido dado su bajo costo- en presencia de un catalizador alcalino o ácido, generalmente hidróxido de sodio o de potasio. Después de aproximadamente dos horas de constante agitación, los triglicéridos (que son las moléculas que le dan su consistencia viscosa al aceite) reaccionan completamente con el metanol para formar cadenas de metil-éster (biodiesel) y glicerina, un producto secundario de valor comercial.

2.2.4 Materias primas

El uso de materias primas tradicionales, de baja acidez, conducen a la producción de un biocombustible de mayor precio que el gasoil derivado de petróleo. No obstante, razones ambientales y estratégicas han dado a este combustible creciente importancia, y debido a su gran disponibilidad y la presencia de incentivos fiscales, materias primas como la soja, el girasol y el maíz han sido las más usadas para producir el biodiesel en gran escala. También existen opciones para producir biodiesel a costos competitivos, en unidades de producción de baja escala, a partir de materias primas alternativas de menor valor, y en general de mayor acidez. Estos materiales de menor valor económico son por ejemplo aceite usado de cocina, grasas ácidas, grasas marrones, grasa de pollo, etc.

Se puede decir que la producción de biodiesel tiende a provenir mayoritariamente de los aceites extraídos de plantas oleaginosas, sin embargo cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción del mismo. A modo de resumen, se pueden emplear:

- *Aceites vegetales convencionales:* Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol, la colza, la soja y el coco; y los aceites de frutos oleaginosos como la palma.
- *Aceites vegetales alternativos:* Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos.
- *Aceites vegetales modificados genéticamente:* Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol, mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a

la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiesel, los aceites con elevado contenido en instauraciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oleico.

- *Aceites de frituras usados:* El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Esta alternativa además de producir combustible elimina un residuo contaminante como es el aceite usado.
- *Grasas animales:* Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel.
- *Aceites de otras fuentes:* Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de microalgas.
- *Otras fuentes:* Está en estudio la utilización de bioetanol y biometanol en el proceso de esterificación de dichos aceites para la producción de biodiesel, al igual que el desarrollo de cultivos específicos para fines energéticos, no alimentarios [24].

Dentro de la Unión Europea, el aceite de colza es la materia prima que más ampliamente disponible se encuentra. El Comité Europeo de Estandarización, desarrolló una norma uniforme, la EN 14214. En los Estados Unidos, la materia prima líder para la producción de biodiesel es el aceite de soja. En el caso de Argentina, el aceite de soja también es el insumo principal para la elaboración de biodiesel.

2.2.5 Estándares de calidad del biodiesel

Dado que el biodiesel se produce en plantas de diferente escala, a partir de aceites vegetales de orígenes muy variados, se hizo necesario instalar una estandarización de la calidad del combustible para garantizar un rendimiento del motor sin ninguna dificultad. Austria fue el primer país en definir y aprobar los estándares para los ésteres metílicos de aceite de colza como combustible diésel. Dado que la estandarización es un prerrequisito para una introducción y penetración exitosa en el mercado, los estándares o lineamientos han sido definidos en países como Alemania, Italia, Francia, República Checa, Estados Unidos y Argentina entre otros.

Todos los motores han sido diseñados y fabricados para funcionar con un combustible que cumpla determinadas características técnicas. En Argentina, el organismo que define estas características es el Instituto de Racionalización Argentino de Materiales (IRAM). Otros países que utilizan biodiesel, han dictado sus propias normas. En el siguiente cuadro se comparan los estándares de calidad de diferentes países [23] [25], y se detallan las características mínimas exigibles por cada uno de ellos. La europea, junto con la norma IRAM son las únicas que establecen un parámetro específico para medir la estabilidad a la oxidación, fijando en ambos casos el valor de 6 h a 110 °C. Ambas fijan también el contenido máximo de ésteres de ácido linoleico y de mayor grado de insaturación. La norma europea sustituye las otras normas en vigencia de los países de la unión, imponiendo restricciones más fuertes en la calidad del biodiesel.

	Austria	Alemania	Italia	Francia	Europea	USA	Argentina
Norma	ONORM C1191	DIN V 51606	CUNA	Journal Officiel	EN 14214	ASTM D-6751[1]	IRAM 6515
Fecha	Enero/96	Sept 97[7]	Abril/93	Sep 97[5]	2003	Dic./01	Oct/01
Densidad 15°C g/cm^3	0.85-0.89	0.875-0.9	0.86-0.90	-	0.86-0.90	-	0.86-0.9
20°C	-	-	-	-			
Viscosity 20°C cSt	-	-	-	-			
40°C	3.5-5.0	3.5-5.0	3.5-5.0	-	3.5-5.0	1.9-6.0	3.5-5.0
Punto Ignición °C	≥ 100	≥ 100	≥ 100	-	≥ 120	≥ 100	
POFF verano °C	≤ 0	≤ 0	≤ 0	-		-	
invierno	≤ -15	≤ -20	≤ -15	-		-	
PE verano °C	-	-	-	-		-	
invierno	--	-	-	-			
Azufre total %P	≤ 0.02	≤ 0.01	≤ 0.01	-	10 mg/kg	≤ 0.05	10 mg/kg
CC 100% %P	≤ 0.05	-	-	-		≤ 0.05	
10% res. destilado	-	≤ 0.3	≤ 0.5	-	≤ 0.3		≤ 0.3
Ceniza sulfat %P	≤ 0.02	≤ 0.03	-	-	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02
Cenizas %P	-	≤ 0.01	-	-		-	
Agua mg/Kg	-[2]	≤ 300	≤ 700	≤ 200	≤ 500	≤ 0.05%	≤ 500
Impureza total mg/Kg	[3]	≤ 20	-	-	≤ 24	-	≤ 24
Corrosión-Cu 3h/50°C	1	1	-	-	1	< N° 3	1
Número Cetano	≥ 48	≥ 49	-	≥ 49	≥ 51	≥ 40	≥ 50
N° Neutralización mgKOH/g	≤ 0.80	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 1	≤ 0.50	≤ 0.80	≤ 0.50
Estabilidad Oxidación 110°C h	-	-	-	-	6		6
Metanol %P	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.20	≤ 0.10	≤ 0.20	-	≤ 0.20
N° Saponificación mg KOH/g	-	-	≥ 170	-			
Contenido Esteres %P	-	-	≥ 98	≥ 96.5	≥ 96.5[6]	-	≥ 96.5[8]
Triglicérido %P	-	≤ 0.1	≤ 0.1	-	≤ 0.2	-	≤ 0.2
Diglicérido %P	-	≤ 0.1	≤ 0.2	-	≤ 0.2	-	≤ 0.2
Monoglicérido %P	-	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 0.8	-	≤ 0.8
Glicerina combinada %P	-	-	-	-			
Glicerina libre %P	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.05	-	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02
Glicerina Total %P	≤ 0.24	≤ 0.25	-	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.24	≤ 0.25
Número Iodo	≤ 120[4]	≤ 115	-	≤ 115	≤ 120	-	
Fósforo mg/Kg	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-	≤ 10
Metales alcalinos mg/Kg	-	< 5	-	≤ 5	≤ 5 (Na+K) ≤5(Ca+Mg		≤ 5(Na+K)

[1] basado en la norma provisional PS121-99, de julio de 1999.
[2] libre de agua separada
[3] libre de sólidos
[4] contenido de ácido linoleico (C18:3) y otros de 3 o mas insaturaciones ≤ 15%P
[5] previamente norma de Dic. 93
[6] versión anterior de Nov./94
[7] versión anterior Junio/94
[8] esteres de ácido linoleico ≤ 12%P, esteres de poliinsaturados (>= 4 dobles ligaduras) ≤ 1%P
POFF: punto obturación filtro en frío, PE: punto escurrimiento, CC: carbón conradson

Cuadro 3: Comparativa de estándares y valores de propiedades del biodiesel [25]

Se puede observar que no existen grandes diferencias entre los estándares, en aquellos parámetros que han sido especificados. La mayor diferencia, se da entre las normas al no fijarse los valores de algunas de las propiedades del combustible. Por ejemplo, la norma ASTM no establece valores de referencia para la estabilidad a la oxidación, el número de yodo, y el contenido de metales alcalinos. Argentina ha adoptado en general los valores más estrictos, ya sea dado por la norma ASTM o la EN.

La calidad del biodiesel depende tanto de la calidad de la materia prima de origen (aceite), como de los insumos (metanol y un catalizador, agua sin sarro para lavaje del metiléster) y del proceso de ingeniería aplicado (calidad de la maquinaria). En relación al proceso de producción de biodiesel, los principales recaudos a tomar para una operación óptima en motores diésel son la remoción de glicerina, remoción de catalizador, remoción de alcohol y ausencia de ácidos grasos libres. Por otra parte es fundamental la remoción del metanol proveniente de la transesterificación, ya que su presencia excesiva en el biodiesel impide alcanzar la calidad óptima. Asimismo, baja considerablemente la temperatura de encendido o "flash point" (de alrededor de 130 grados en biodiesel de alta calidad), volviéndose riesgosa su manipulación y uso en vehículos [26].

2.2.5.1. Normativa IRAM

En la República Argentina se han sentado las bases para establecer una calidad internacional en el mercado, mediante la norma IRAM 6515/01, la cual establece los requisitos y métodos de ensayo para el biodiesel, su comercialización y suministro como combustible para vehículos. Esto es así tanto para su versión pura, como para aquellos cortes realizados con gasoil (que también cumplan con las respectivas normas IRAM de calidad). La misma se divide en 2 partes:

- IRAM 6515-1: Calidad de combustibles. Combustibles líquidos para uso automotor. Parte 1: Puro (B100) – Requisitos.
- IRAM 6515-2: Calidad de combustibles. Combustibles líquidos para uso automotor. Parte 2: Mezcla (B20) – Requisitos.

2.2.5.2. Normativa ASTM

La ASTM estableció un juego de normas nuevas y revisadas (octubre 2008) para el biodiesel a través del Subcomité D02.E0 -combustibles para quemadores, motores diésel y marinos y turbinas de gas que no se usen en aviación- entre cuyos miembros se incluye a representantes de refinerías de petróleo, fabricantes de automóviles, fabricantes de motores, productores de biodiesel, instituciones académicas, etc., de todo el mundo. El objetivo es brindar a la industria una herramienta valiosa que garantice la calidad y el comportamiento del producto estableciendo parámetros claramente definidos.

El desarrollo de las especificaciones para los combustibles mezclados empezó en 2001 luego de la publicación de la norma D6751 de la ASTM, especificación para la existencia de mezclas de combustible biodiesel (B100) para los combustibles de destilación intermedia. Entre las normas nuevas y modificadas, se encuentran las siguientes [27]:

- La ASTM D6751, especificación para la existencia de mezclas de combustible biodiesel (B100) para combustibles de destilación intermedia, que se modificó para incluir un requisito que controle las combinaciones secundarias y que brinda una información más precisa sobre cómo funcionará el combustible cuando el ambiente está frío.
- La ASTM D975, especificación para el fueloil para los motores diésel (que se usa en aplicaciones diésel convencionales y todo terreno), se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiesel. Esto permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el diésel convencional a efectos de la realización de ensayos.
- La ASTM D396, especificación para el fueloil (usado en sistemas de calefacción y en calderas), que se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiesel. Como la norma D975, esta modificación permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el fueloil convencional a efectos de la realización de ensayos.
- La ASTM D7467, especificación para las mezclas de biodiesel (B6 a B20) de fueloil para motores diésel. Es una especificación totalmente nueva que rige las propiedades de

la mezclas que contienen entre 6% y 20% de biodiesel para ser usadas en motores diésel convencionales y todo terreno.

Estándar ASTM D 6751			
Propiedades	**Métodos de ensayo**	**Límites**	**Unidades**
Punto de inflamación	D 93	93 mín.	°C
Control de alcohol Uno de los siguientes debe cumplir: • Contenido de metanol • Punto de inflamación	 EN 14110 D 93	 0.2 máx. 130 mín.	 masa % °C
Agua y sedimentos	D 2709	0.050 máx.	% volumen
Viscosidad cinemática, 40°C	D 445	1.9 – 6.0	mm^2/s
Ceniza sulfatada	D 874	0.020 máx.	% masa
Azufre	D 5453	0.0015 máx. o 0.05 máx.[a)]	% masa
Corrosión a la lámina de cobre	D 130	No. 3 máx.	
Número de cetano	D 613	47 mín.	
Punto de enturbiamiento	D 2500	Reporte	°C
Filtrabilidad en frío	Anexo A1	360 máx.	segundos
Residuo carbonoso (100% de muestra)	D 4530	0.050 máx.	% masa
Número ácido	D 664	0.50 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	D6584	0.020 máx.	% masa
Glicerina total	D 6584	'.240 máx.	% masa
Temperatura de destilación, temperatura equivalente atmosférica, 90% recuperado	D 1160	360 máx.	°C
Estabilidad a la oxidación	EN 14112	3 mín.	h
Calcio y magnesio, combinado	EN 14538	5 máx.	ppm (um/g)
Sodio y potasio, combinado	EN 14538	5 máx.	ppm (um/g)
Contenido de fósforo	D 4951	0.001 máx.	% masa

a) Los límites son para biodiesel Grado S15 y Grado S500 respectivamente. S15 y S500 hacen referencia a especificaciones de azufre máximo (en ppm).

Cuadro 4: Métodos de ensayo y valores límites establecidos por la ASTM D 6571 [28]

Estándar ASTM D 7467			
Propiedades	**Métodos de ensayo**	**Límites**	**Unidades**
Punto de inflamación	D 93	52 mín.	°C
Agua y sedimentos	D 2709	0.05 máx.	% volumen
Control de alcohol Uno de los siguientes s debe cumplir: • Contenido de metanol • Punto de inflamación	 D 976-80 D 1319-03	 40 mín. 35	 % volumen
Viscosidad cinemática, 40°C	D 445	1.9 – 4.1	mm^2/s
Ceniza sulfatada	D 482	0.01 máx.	% masa
Contenido de azufre [a)]	D 5453 D 2622 D 129	15 máx. 0.05 máx.[a)] 0.50	ug/g % masa % masa
Corrosión a la lámina de cobre	D 130	No. 3 máx.	
Número de cetano	D 613	40 mín.	
Punto de enturbiamiento	D 2500	Reporte	°C

Número ácido	D 664	0.30 máx.	mg KOH/g
Temperatura de destilación, temperatura equivalente atmosférica, 90% recuperado	D 1160	343 máx.	°C
Estabilidad a la oxidación	EN 14112	6 mín.	h
Lubricidad, HFRR a 60 °C	D 6079	520 máx.	micrón (um)
Contenido de biodiesel	D 7371	6 - 20	% (v/v)

a) Diferentes límites para cortes con combustible diésel de contenido variable de azufre.

Cuadro 5: Métodos de ensayo y valores límites establecidos por la ASTM D 7467 [28]

2.2.5.3. Normativa europea

El estándar europeo EN 14214: Combustibles para automóviles – Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, por sus siglas en inglés) para motores diésel – Requerimientos y métodos de ensayo, reemplaza a los estándares europeos de los países que son miembros del CEN (Comité Europeo para Estandarización). Este estándar, contiene una sección separada para propiedades a baja temperatura. En el siguiente cuadro, se indica los requerimientos de esta norma, y los métodos de ensayos aplicables [29]:

Propiedad	Unidad	Límites		Método de ensayo
		mínimo	máximo	
Contenido de ésteres	% (m/m)	96,5	-	EN 14103
Densidad a 15°C	Kg/m^3	860	900	EN ISO 12185 EN ISO 3675
Viscosidad a 40°C	mm^2/s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120*	-	prEN ISO 3679
Contenido de azufre	mg/Kg	-	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Índice de Cetano		51		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/Kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación Total	mg/Kg	-	24	EN 12662
Corrosión a la tira de cobre (3h a 50°C)	clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad frente a la oxidación, 110°C	horas	6,0	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Índice de yodo	g yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linolénico	% (m/m)		12,0	EN 14103
Ésteres de metilo poliinsaturados (>=4 dobles enlaces)	% (m/m)		1	EN 14103
Contenido de metanol	% (m/m)		0,20	EN 14110
Contenido de monoglicéridos	% (m/m)		0,80	EN 14105
Contenido de diglicéridos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Contenido de triglicéridos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Glicerina libre	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerina Total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K)	mg/Kg		5,0	EN 14108/09
Metales del grupo II (Ca+Mg)	mg/Kg		5,0	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/Kg		10,0*	EN 14107

(*) Punto de inflamación propuesto en próxima modificación = 101.
Contenido en fósforo propuesto en próxima modificación = 4.

Cuadro 6: Métodos de ensayo y valores límites establecidos por la EN 14214

2.3 Materiales poliméricos

Los polímeros naturales como la lana, seda y la celulosa entre otros, se han empleado excesivamente y han tenido mucha importancia a lo largo de su historia. Sin embargo, hasta finales del siglo XIX no aparecieron los primeros polímeros sintéticos, como por ejemplo el celuloide. Los primeros polímeros que se sintetizaron se obtenían a través de transformaciones de polímeros naturales. En 1839 Charles Goodyear realiza el vulcanizado del caucho. El nitrato de celulosa se sintetizó accidentalmente en el año 1846 por el químico Christian Friedrich Schonbein y en 1868, John W. Hyatt sintetizó el celuloide a partir de nitrato de celulosa.

El primer polímero totalmente sintético se obtuvo en 1909, cuando el químico belga Leo Hendrick Baekeland fabrica la baquelita a partir de formaldehído y fenol. En 1922, el químico alemán Hermann Staundinger comienza a estudiar los polímeros y en 1926 expone su hipótesis de que se trata de largas cadenas de unidades pequeñas –llamadas unidades estructurales- unidas por enlaces covalentes. Este concepto se convirtió en "fundamento" de la química macromolecular solo a partir de 1930, cuando fue aceptado ampliamente y contribuyó al desarrollo de la química de los polímeros, tanto sintéticos como naturales.

Debido a las propiedades únicas que estos materiales presentan, han desplazado y sustituido de manera creciente a componentes metálicos en diversas aplicaciones. Las principales propiedades que presentan los polímeros son: buena resistencia química, baja conductividad eléctrica y térmica, baja densidad, alta relación resistencia/peso particularmente cuando son reforzados con fibras como la fibra de vidrio, reducción del ruido, apariencia agradable de colores y transparencias, bajo costo y facilidad de manufactura. Comparados con la mayoría de los metales y de los cerámicos, los polímeros comerciales tienen baja resistencia, rigidez y temperatura de fusión; sin embargo sus principales ventajas están relacionadas a su baja densidad y buena resistencia química, además de ser relativamente económicos y fácilmente conformables. Por su parte, hay polímeros ingenieriles que están diseñados para dar una mejor resistencia o mejor rendimiento a temperaturas elevadas. Estos últimos se producen en cantidades relativamente pequeñas y son costosos. Algunos de los polímeros ingenieriles pueden funcionar a temperaturas de hasta 350°C; otros, usualmente en forma de fibra, tienen resistencias superiores a las del acero. Usualmente son utilizados como fibra, y como matriz en compuestos.

2.3.1 Clasificación de polímeros

Los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión mediante enlaces covalentes de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Éstos se repiten cientos o miles de veces formando largas cadenas, las cuales se unen entre sí mediante enlaces más débiles, como las fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas. La elección de los monómeros y el modo en que éstos se ensamblan definen las propiedades del material resultante.

Los polímeros son materiales ingenieriles importantes. Una característica trascendental que presentan, es un bajo punto de fusión en los enlaces débiles, por lo que sus propiedades son muy dependientes de la temperatura.

Los materiales poliméricos industrialmente importantes, se clasifican de varias formas: primero según la manera en que las moléculas son sintetizadas; segundo, en función de su estructura molecular y tercero, por su familia química. Sin embargo, el método más usado para describir los polímeros es en función de su comportamiento mecánico y térmico, siendo las dos clases principales las siguientes:

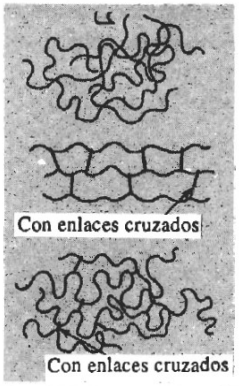
- **Plásticos**
  - ✓ **Termoestables o termorrígidos:** existen fuerzas intermoleculares fuertes. Las cadenas se diseñan para entrecruzarse, es decir, se establecen enlaces

químicos entre sí. Gracias a esto, las cadenas se traban formando una red rígida tridimensional, que impide que tales polímeros se moldeen de nuevo mediante calentamiento. Además de esto, también son insolubles. Estos polímeros son más resistentes, pero también más frágiles que los termoplásticos.

- ✓ **Termoplásticos:** estos polímeros están formados por cadenas lineales flexibles, unidas por débiles enlaces de tipo secundario, por lo cual estos materiales se reblandecen al calentarlos y pueden conformarse por flujo viscoso. Típicamente se comportan de manera plástica y dúctil. Otra característica que presentan es que se pueden reciclar con facilidad.

- ➢ **Elastómeros o gomas:** tienen la característica de deformarse elásticamente con deformaciones superiores al 100% y luego recuperar su longitud inicial cuando se quita la carga. Sus cadenas moleculares se encuentran unidas por muy pocas y distanciadas uniones de tipo primario y las uniones secundarias no están presentes a temperatura ambiente.

En el siguiente cuadro se comparan las tres clases principales de polímeros:

Comportamiento	Estructura general	Diagrama
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles	
Termoestable	Red rígida tridimensional	
Elastómero	Cadenas lineales con enlaces cruzados	

Cuadro 7: Comparación de las clases de polímeros

El proceso químico mediante el cual los monómeros se combinan químicamente para dar las largas cadenas de polímero se denomina polimerización. El grado de polimerización (DP) hace referencia al número de unidades de monómero en una molécula, y éste dependerá de parámetros como la temperatura y el tiempo de reacción. Para crear un sólido con propiedades mecánicas útiles se debe tener un grado de polimerización alto (los polímeros comerciales tienen un DP mayor a 10^6), por lo cual la longitud y peso molecular, son características importantes en su estructura [30]. Cuanto más largas son las cadenas, esto es, un mayor grado de polimerización, se incrementa la resistencia del polímero hasta cierto punto. En general, cuanto mayor sean las fuerzas de cohesión entre estas cadenas, tanto más rígido resultará el polímero y tanto mayor será a temperatura de fusión en el caso de polímeros cristalinos o la temperatura de reblandecimiento en el caso de polímeros no cristalinos.

Cuando se parte de un solo tipo de molécula se habla de homopolimerización y de homopolímero. Cuando son dos o más moléculas diferentes las que se repiten en la cadena, se habla de copolimerización, comonómeros y copolímeros. Las reacciones de polimerización se suelen dividir en dos grandes grupos: reacciones de adición y de condensación, siendo los polímeros obtenidos por estas vías polímeros de adición y polímeros de condensación. En los polímeros de adición la unidad estructural de repetición tiene la misma composición que la del monómero de partida. El tipo de monómero influye en

la unión entre cadenas y en la capacidad de las mismas para girar o deslizarse entre ellas al aplicar un esfuerzo. El grupo más importante de polímeros de adición corresponde a los formados a partir de monómeros que contienen un doble enlace carbono-carbono, como es el caso por ejemplo de la polimerización del policloruro de vinilo (PVC) o del polietileno (PE). En cambio, los polímeros de condensación se forman a partir de monómeros polifuncionales a través de diversas reacciones con la posible eliminación de alguna pequeña molécula, tal como el agua. Un ejemplo típico es la formación de las poliamidas a partir de la reacción de diaminas y ácidos dicarboxílicos.

En cuanto a la estructura de los polímeros, se pueden considerar dos tipos: la estructura química y la estructura física. En el primer caso, se hace referencia a la construcción de la molécula individual, y por lo tanto se considera el efecto de la naturaleza de los átomos que constituyen la cadena principal y los sustituyentes de la misma, las uniones entre monómeros, el peso molecular y su distribución, y el efecto de las ramificaciones o entrecruzamientos en la cadena principal. En el segundo, se hace referencia al ordenamiento de unas moléculas respecto a otras, y por lo tanto, su orientación y cristalinidad que dependen en gran medida de su estructura química.

A continuación, se hará una descripción de los materiales comúnmente usados en los sistemas de inyección de combustibles, y que fueron utilizados para la confección de las probetas ensayadas en el presente trabajo.

2.3.2 Materiales comúnmente usados en o'rings

2.3.2.1 VITON DuPont. Fluoroelastómero

Viton® es un termopolímero de hexafluorpropileno con fluoruro de vinilideno, tetrafluoretileno y eterperfluoro metilvinilico, desarrollado por *Dupont Performance Elastomers*. La mayoría de los elastómeros Viton® se caracterizan bajo la designación FKM (fluorocarbon monomer) de la norma ASTM D1418 [31].

Los fluoroelastómeros se obtienen a partir de la copolimerización de monómeros fluorados y otros de diferente naturaleza, bajo diferentes mecanismos de control de peso molecular y adición de aditivos. Estos materiales presentan en su estructura molecular una gran cantidad de enlaces carbono-flúor. La energía de este tipo de enlace es mucho mayor que la correspondiente al enlace carbono-hidrógeno y superior también a la del enlace carbono-cloro. Por otra parte, los átomos de flúor mucho más voluminosos, ejercen un efecto de apantallamiento, que protege a la cadena carbonada principal. De todo ello derivan sus principales prestaciones que son su estabilidad química y térmica, lo que les confiere una excelente resistencia química a elevadas temperaturas –proporcional al contenido de flúor- , no igualada por ningún otro elastómero. En contraposición a esto, los elastómeros fluorados presentan pobres propiedades mecánicas en comparación con otros elastómeros, como por ejemplo el NBR [32].

Los cauchos fluorados tienen una extraordinaria resistencia a la temperatura. En continuo pueden trabajar hasta los +250 °C sin perder sus propiedades mecánicas, mientras que en servicio intermitente hasta los 300 °C. Entre sus propiedades generales más relevantes se pueden nombrar:

- Tienen excelente resistencia al ozono, intemperie, rayos UV, etc.
- Excelente deformación remanente a la compresión a altas temperaturas
- Excelente resistencia a ácidos y álcalis
- Poseen una resistencia a la tracción menor que los cauchos naturales y no son tan extensibles como éstos, pero presentan excelente resistencia a solventes orgánicos, aceites y grasas, petróleos y sus derivados.
- Débil resistencia a ésteres y cetonas

- Entre los cauchos sintéticos, es el más resistente a hidrocarburos tanto alifáticos, aromáticos como clorados
- No propaga llama, autoextinguible

El Viton® posee un especial rendimiento contra productos químicos agresivos, por lo cual se emplea para la fabricación de o'rings, válvulas, diafragmas, juntas, planchas, recubrimientos de telas y cables. Además de ser compatible con hidrocarburos, cetonas y ácidos orgánicos. Por ello, su utilización va desde industrias pesadas como refinerías, petroleras, acerías o plantas químicas así como también en industrias con requerimientos especiales como la industria alimentaria [33].

Principalmente se utiliza como juntas de estanqueidad en servicios de alta temperatura y/o con productos químicos agresivos. El tipo comercial es el **VITON A** con 66% de flúor, pudiéndose fabricar otras fórmulas como **VITON B** con 68% de flúor, el **VITON F** con 70% de flúor y **VITON calidad alimentación,** color blanco.

Los proveedores de o'rings, identifican con códigos internos propios la mezcla utilizada para la composición de cada uno de ellos. Para generar un estándar de uso común, estos códigos se identifican con colores, con los cuales se especifican las diferentes propiedades físicas. Los cuadros siguientes fueron extraídos de las fichas técnicas de un proveedor de o'rings [34].

Características *Technical properties* *Propriétés techniques*	Método de prueba *Test method* *Méthode*	Valores garantizados *Guaranteed values* *Valeurs garanties*	Unidad de medida *Unit of measure* *Unité de mesure*
Dureza *Hardness Dureté*	ASTM D 2240	70 +/-5	Shore A
Peso específico *Specific gravity Poids spécifique*	ASTM D 297	2,12+/-0,03	g/cm³
Resistencia a la tracción *Tensile strenght Résistance à la traction*	ASTM D 412 C	12	MPa
Alargamiento a rotura *Elongation at break Allongement à la rupture*	ASTM D 412 C	190	%
Resistencia al desgarro *Tear resistance Résistance au déchirement*	ASTM D 624 B	34	N/mm
Resistencia al Frio *Cold test Tenue au froid* TR10	ASTM D 1329	-17	°C

Cuadro 8: Propiedades físicas o'ring de FKM, color verde

Características *Technical properties* *Propriétés techniques*	Método de prueba *Test method* *Méthode*	Valores garantizados *Guaranteed values* *Valeurs garanties*	Unidad de medida *Unit of measure* *Unité de mesure*
Dureza *Hardness Dureté*	ASTM D 2240	80 +/-5	Shore A
Peso específico *Specific gravity Poids spécifique*	ASTM D 1817	2,19+/-0,03	g/cm³
Resistencia a la tracción *Tensile strenght Résistance à la traction*	ASTM D 412	10,5	MPa
Alargamiento a rotura *Elongation at break Allongement à la rupture*	ASTM D 412	176	%
Resistencia al Frio *Cold test Tenue au froid* Brittleness	ASTM D 2137	PASS	-3 min a -15°C

Cuadro 9: Propiedades físicas o'ring de FKM, color marrón

2.3.2.2 Goma de nitrilo butadieno (NBR)

Son copolímeros de butadieno y nitrilo o acrilonitrilo, y frecuentemente se les conoce simplemente como cauchos nitrílicos. Su abreviatura internacional es NBR (Nitrile Butadiene Rubber). Junto con los fluorados, los nitrílicos son de los cauchos sintéticos con mejor resistencia a los aceites e hidrocarburos alifáticos. Según su contenido en ACN se pueden clasificar en bajo contenido (18% ACN), medio contenido (34%ACN) y alto contenido (50% ACN). El NBR se sintetiza principalmente por un proceso de emulsión en frío el cual permite

obtener copolímeros como los mencionados anteriormente, y con una estructura molecular como la que se indica a continuación:

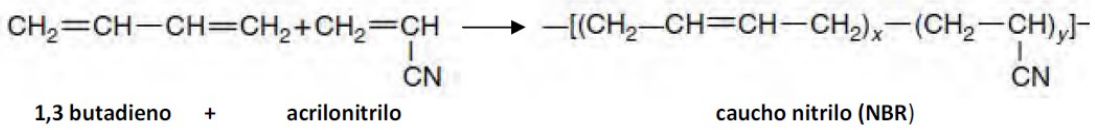


Figura 8: Estructura molecular del NBR

La fracción de polibutadieno es la que le confiere sus características elásticas. También es la zona más susceptible a la oxidación y al ataque por ozono, debido a la presencia de la insaturación. Por otro lado, la fracción de poliacrilonitrilo, fuertemente polar, es la que les proporciona su resistencia a compuestos no polares, tales como gasolinas, aceites y disolventes hidrocarbonados, lo que hace que este material sea de uso frecuente en la industria petrolera [35].

Según la norma ASTM D2000, estos elastómeros se clasifican según tipo y clase, representándose esto mediante dos letras respectivamente. El tipo de elastómero, se refiere a la resistencia que éste tiene frente al envejecimiento térmico, mientras que la clase se basa en la resistencia a aceites derivados del petróleo, lo cual se mide mediante el hinchamiento volumétrico, y su variación obedece principalmente al contenido de acrilonitrilo. Se ha demostrado que a mayor contenido de éste, mayor es la resistencia a compuestos hidrocarbonados, sin embargo, también le otorga a la molécula una mayor rigidez que tiene como resultado un aumento en la temperatura de transición vítrea. Otro punto importante a tener en cuenta es que a mayor contenido de acrilonitrilo, el material tiende a comportarse de manera similar a un termoplástico, lo cual facilita su procesabilidad [32].

Entre sus propiedades más relevantes se pueden nombrar:

- Resistencia muy satisfactoria frente a aceites e hidrocarburos alifáticos (hexano, heptano, metano, etano, octano, butano, pentano).
- Limitada resistencia frente a los hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, xileno) y más aún frente a los clorados (cloroformo, tricloroetileno, percloroetileno).
- Buena adhesión al acero
- Resistencia a los ácidos (excepto oxidantes), ácidos grasos, grasas vegetales o animales.
- Resisten álcalis y sales
- Es de destacar su baja permeabilidad al aire y a otros gases hidrocarbonados como gas natural, propano y butano.
- Moderada resistencia a temperaturas bajas y a la intemperie.

2.3.3 Materiales comúnmente usados en mangueras

2.3.3.1 Politetrafluoroetileno – TEFLÓN DuPont (PTFE)

El politetrafluoroetileno (más conocido por el nombre comercial teflón), es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de flúor. Se comercializa bajo el nombre de teflón, que es una marca comercial registrada propiedad de DuPont, y la fórmula química del monómero tetrafluoroetileno es $CF_2=CF_2$. Este monómero es simétrico, y la resistencia del polímero no es muy superior a la del polietileno (cuya fórmula química del monómero es $CH_2=CH_2$). En la Figura 9, se aprecia

una molécula de tetrafluoroetileno, y un segmento de cadena formado por la polimerización del mismo.

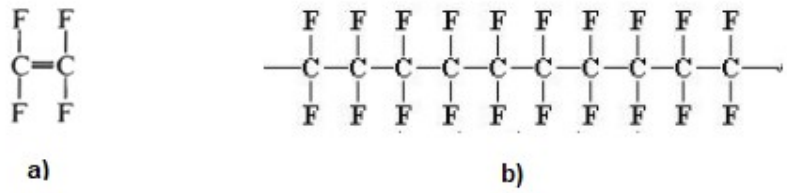


Figura 9: a) Molécula de tetrafluoroetileno, b) Modelo bidimensional simple de un segmento de tetrafluoroetileno

El PTFE es un material de notables características. Presenta propiedades útiles en el rango de temperaturas más amplio de cualquier polímero; retiene en cierta medida su ductilidad a -270 °C y en algunas situaciones se usa en aplicaciones a 540 °C. Es insoluble en todos los solventes comunes y es resistente a casi todos los materiales ácidos y cáusticos, tiene la resistividad más alta de cualquier material, una resistencia dieléctrica muy alta y bajas pérdidas dieléctricas. El coeficiente de fricción entre el PTFE y muchos materiales ingenieriles es extremadamente bajo, y esto sumado a su estabilidad química hace que sea un material casi imposible de adherir a otros [36]. También presenta un alto punto de fusión cristalino (327 °C), alta viscosidad de fusión (aproximadamente 10^{11} Poises a 380 °C) y alta estabilidad térmica. Todo lo mencionado implica que este material ofrezca importantes ventajas tecnológicas, lo que hace también que sean necesarias técnicas especiales para determinar su estructura molecular y poder procesarlo en formas útiles [37].

2.3.3.2 Caucho estireno-butadieno (SBR)

El caucho estireno-butadieno, frecuentemente abreviado SBR (del inglés Styrene-Butadiene Rubber) es un copolímero de estireno y de butadieno, Figura 10. Es el caucho sintético de mayor volumen de producción, con alrededor del 60% de la producción total de cauchos sintéticos del mundo. Su principal aplicación es en la fabricación de neumáticos.

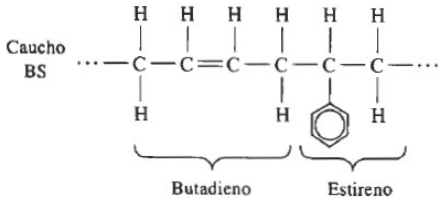


Figura 10: Composición del caucho estireno butadieno

El elastómero SBR es un sustituto del caucho natural. Su resistencia a la tracción después de mezclado con negro de humo y vulcanizado es inferior a la del caucho natural, pero en cambio tiene una elongación de hasta el 1000%. Igualmente en abrasión y resistencia superficial es superior al caucho natural y tiene mejor resistencia a los disolventes y a la intemperie. En muchas de sus aplicaciones tiene que ser reforzado para tener una resistencia aceptable, cizalladura y una buena durabilidad.

Entre sus propiedades más relevantes se pueden mencionar [38]:

Propiedades mecánicas:

- Rangos de dureza disponible: Productos rígidos: entre 40 Shore-A y 90 Shore-A; Productos micro porosos: entre 10 Shore-A y 35 Shore-A.
- Moderada resiliencia (cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente debido a una tensión aplicada).
- Excelente resistencia a la abrasión.
- Moderada resistencia al desgarro.
- Excelente resistencia al impacto.
- Moderada resistencia a la flexión.

Propiedades físicas:

- Temperatura de servicio: –10 °C a 70 °C.
- Baja resistencia a la intemperie (oxidación, ozono, luz solar).
- Excelente resistencia eléctrica.
- Muy baja permeabilidad a los gases.

Propiedades químicas:

- Buena resistencia al agua pero pobre resistencia al vapor de agua.
- No poseen resistencia a los hidrocarburos (alifáticos, aromáticos, clorados).
- Baja resistencia a ácidos diluidos, menor aún en caso de mayor concentración.
- Baja resistencia a los aceites (animal y vegetal).

2.3.3.3 Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo $(C2H3Cl)_n$ es un polímero termoplástico, y es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo, siendo ésta una molécula polar. Es el derivado del plástico más versátil. Se puede producir mediante tres procesos diferentes: emulsión, suspensión en masa y en solución. El cloruro de vinilo se transforma en un polvo blanco, fino y químicamente inerte: la resina de PVC, a partir de la cual se pueden obtener productos rígidos y flexibles.

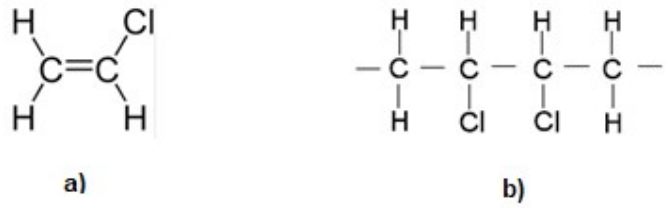


Figura 11: a) Molécula de cloruro de vinilo, b) Modelo bidimensional simple de un segmento de policloruro de vinilo

El tipo de monómero a partir del cual el polímero es producido influye en el enlace entre cadenas, lo que está relacionado a la facilidad con que estas deslizan entre sí. Los átomos o grandes grupos adicionados a las cadenas, siendo en este caso, un átomo de cloro cada dos átomos de carbono, interfieren en el deslizamiento entre las mismas al aplicar un esfuerzo. La elevada viscosidad lograda incrementa la resistencia y la rigidez de este polímero. Además, el átomo de cloro produce uniones de Van der Waals más fuertes entre cadenas, generando de esta forma un doble incremento en la resistencia. Por otro lado, el PVC acepta fácilmente diversos plastificantes, modificándolo en flexible y elástico. Esto explica la gran versatilidad que caracteriza a este polímero.

Entre sus propiedades más relevantes se pueden nombrar:

- Rango de temperatura de trabajo: -15°C a 60°C.
- Resistencia a la corrosión: como el PVC no es conductor, los efectos galvánicos y electroquímicos no existen.
- Amplio rango de durezas
- Bajo peso específico comparado con otros materiales utilizados en lla fabricación de tubos, lo que permite obtener un tubo liviano sin que por ello resulte débil.
- Elevada resistencia a la abrasión, buena resistencia mecánica y al impacto
- Puede trabajar como material rígido o flexible, en función de los aditivos que se utilicen
- No se quema con facilidad ni arde por sí solo, característica conferida por los átomos de cloro.

2.3.4 Material comúnmente usado en tanques de combustible

2.3.4.1 Polietileno de alta densidad (PEAD)

El polietileno es el más sencillo de los polímeros termoplásticos y está conformado por unidades básicas repetitivas de etileno las cuales se pueden repetir indefinidamente para formar el polietileno. El etileno es un gas de fórmula C_2H_4. Los dos átomos de carbono están unidos por un enlace covalente doble. La cadena de polímero está formada por una cadena principal de átomos de carbono mientras que dos átomos de hidrógeno están enlazados a cada átomo de carbono en la cadena. Ésta gira y se retuerce en el espacio. El polietileno siempre sintetiza por reacciones de adición, es decir, en presencia de una combinación apropiada de calor, presión y catalizadores, se rompe el enlace doble entre los átomos de carbono y éste se reemplaza por un enlace covalente único. Cuando el doble enlace no saturado se rompe, cada átomo de carbono se puede fijar a otra unidad de repetición de etileno formando finalmente el polietileno. Su fórmula general es $(CH_2\text{-}CH_2)_n$.

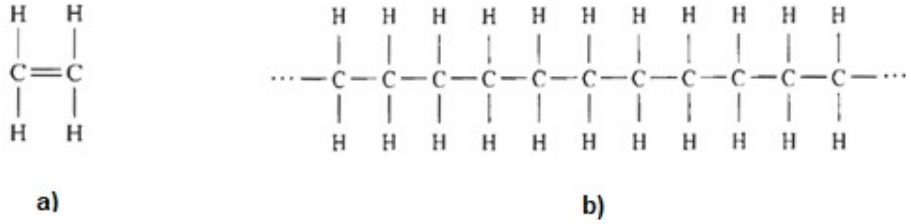


Figura 12: a) Molécula de etileno, b) Modelo bidimensional simple de un segmento de polietileno

En el caso de la molécula de polietileno, molécula sencilla ***no polar,*** las cadenas se atraen entre sí por fuerzas intermoleculares débiles de tipo London (dipolo inducido-dipolo inducido), y en consecuencia, es un material blando con una temperatura de fusión relativamente baja. A su vez, las cadenas lineales giran y se deslizan fácilmente al aplicarles un esfuerzo, por lo que presenta una baja resistencia.

En forma general se puede clasificar al polietileno en tres categorías de acuerdo a la densidad que presentan: polietileno de baja densidad, de mediana densidad y de alta densidad. Este último, es un polímero con estructura lineal y muy pocas ramificaciones, a diferencia del de baja densidad el cual presenta una cadena ramificada. La ramificación, determinada en gran parte por el contenido de monómeros, reduce la tendencia a la

cristalización y a la compactación de las cadenas, reduciendo por lo tanto su densidad, su rigidez y la resistencia de polímero.

Las propiedades del polietileno de alta densidad como las de cualquier otro polímero dependen fundamentalmente de su estructura, es decir, básicamente de su peso molecular y cristalinidad. Esta última tiene una marcada influencia sobre las propiedades mecánicas y térmicas del material. Este polímero es esencialmente cristalino (aunque no totalmente) ya que la cristalinidad está favorecida por las estructuras simétricas, que permiten un empaquetamiento más regular de las cadenas en el sólido y que permiten también, una mayor proximidad entre las mismas, lo cual favorece las interacciones entre ellas.

En los siguientes cuadros se presentan el comportamiento químico del PEAD frente a reactivos típicos, y valores de referencia de sus propiedades mecánicas:

Reactivo	Resistencia
Ácidos – concentrados	Buena
Ácidos – diluidos	Buena
Álcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Aceptable
Halógenos	Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable-Buena

Propiedades	Unidades	Valor
Coeficiente de Fricción		0,29
Dureza – Rockwell		D60-73 – Shore
Módulo de Tracción	(GPa)	0,5-1,2
Relación de Poisson		0,46
Resistencia a la Tracción	(MPa)	15-40
Resistencia al Impacto Izod	(J m^{-1})	20-210

Cuadro 10: Comportamiento químico y propiedades mecánicas del PEAD [39]

2.4 Aceites lubricantes

Cuando un elemento de máquina está soportado por un segundo elemento en general, y hay un movimiento relativo entre ellos, de tal forma que las superficies en contacto deslizan una sobre la otra, una cierta cantidad de energía será utilizado en vencer la fuerza debido al rozamiento, y si las superficies se tocan entre sí, existirá elevación de temperatura, y un desgaste rápido y pronunciado de éstas, con peligro de deformación, arrastre de material, rotura, etc. A fin de reducir el rozamiento, disminuir el desgaste y evitar roturas, se coloca entre ambas superficies una sustancia formando una película que las mantenga separadas, y que al mismo tiempo tenga muy bajo índice de rozamiento. Esta sustancia recibe el nombre de lubricante, siendo por lo general líquido o pastoso. De esta manera se reemplaza el rozamiento entre sólido-sólido por otro entre sólido-líquido o pastoso. En estas condiciones, se dice que los elementos trabajan lubricados.

En éste trabajo se va a hacer referencia a los lubricantes líquidos, que son los utilizados en motores de combustión interna, y cada vez adquieren mayor importancia en término de rendimiento tribológico de los motores y en aspectos ecológicos.

El trabajo principal del lubricante es evitar que las piezas metálicas entren en contacto para que así no haya fricción y por ende desgaste dentro del motor o piezas en movimiento. Adicionalmente, su trabajo es disipar el calor que se genera por la fricción. Otra de las funciones de un buen aceite, es que debe mantener en suspensión todos los contaminantes que son creados por la combustión de la gasolina, como lo son los silicatos y ácidos. El lubricante debe limpiar los motores internamente de estos depósitos que son dañinos.

2.4.1 Descripción del proceso de obtención

Los aceites lubricantes en general (salvo sintéticos), son mezclas de aceites básicos parafínicos y aditivos. Los aceites básicos parafínicos son por así explicarlo, las bases para la manufactura de los aceites lubricantes automotrices.

Cabe destacar que la elaboración de los aceites básicos parafínicos no es una cosa sencilla, se tienen que obtener productos de alta calidad, que posteriormente mezclados entre sí y con aditivos, permitan obtener lubricantes de muy alta calidad.

En general los crudos se clasifican en parafínicos y nafténicos, con base en la familia de hidrocarburos que predomina en su composición. Para la producción de aceites básicos se emplean los crudos de base parafínica. La elaboración de los aceites básicos parafínicos se inicia desde la selección del petróleo crudo a utilizar, el cual, proviene de una mezcla de tres tipos: Pozoleo, Olmeca e Istmo.

Una vez que está en los tanques de almacenamiento se envía el crudo a dos plantas primarias, en las cuales se realiza una destilación atmosférica, produciéndose gas húmedo, gasolina, turbosina, kerosina, diésel, etc. y un residuo del cual se obtienen los aceites básicos, enviándose estos a las plantas de vacío en las cuales se extraen los aceites básicos crudos más ligeros. De aquí, sale un residuo que es enviado a las plantas desasfaltadoras, en las cuales se producen los aceites básicos más pesados, obteniéndose también un subproducto para la elaboración de los asfaltos.

Una vez obtenida toda la gama de aceites básicos crudos, estos son enviados a las plantas de extracción con furfural, en las cuales son desaromatizados, incrementándose su índice de viscosidad y mejorándose su color, entre otras cosas. Posteriormente pasan a otro tratamiento en una planta de hidrotratamiento, la cual funciona como estabilizadora, quitando compuestos de azufre, nitrógeno, oxigeno, etc.

Finalmente, estos productos son pasados a unas plantas desparafinadoras en las cuales, como su nombre lo indica, se les extrae, mediante un solvente, unos filtros, y a una temperatura muy baja, la parafina, la cual es utilizada sobre todo en la fabricación de velas, entre otros muchos usos.

En general los aceites lubricantes automotrices son mezclas de dos o más aceites básicos y diferentes aditivos que le imparten o mejoran algunas propiedades a estos aceites.

Es conveniente hacer la aclaración, que cuando se habla de aditivos que se utilizan en la formulación de aceites lubricantes, se habla de productos que se obtienen mediante la utilización de una química avanzada, de años de estudio, pruebas de campo y desarrollo tecnológicos, que, de acuerdo al avance de la industria automotriz, permiten utilizarlos en formulaciones que cumplen los últimos requerimientos de lubricación solicitados por los fabricantes de vehículos en el ámbito mundial.

2.4.2 Propiedades que brindan los aditivos

Los aditivos utilizados para la formulación de aceites lubricantes automotrices proporcionan las siguientes propiedades a los mismos:

ANTIDESGASTE: La finalidad de cualquier lubricante es evitar la fricción entre dos superficies que están en movimiento en forma encontrada. Este aditivo permanece pegado a la superficie de las partes en movimiento, formando una película de aceite, que evita el desgaste entre ambas superficies.

MODIFICADORES DE FRICCION: Estos permiten que las partes en movimiento se deslicen más rápidamente, permitiendo menos fricción, y en consecuencia importantes ahorros de consumo de combustible.

DETERGENTES: Como su nombre lo indica, su función es lavar las partes interiores en el motor, que se ensucian por las partículas de polvo, tierra, etc., que entran al mismo.

DISPERSANTES: Este aditivo pone en suspensión las partículas que el aditivo detergente lavó y las disipa en millones de partes.

En forma resumida podemos decir que su función es: lubricar, enfriar, sellar y lavar. Un buen aceite además de lubricar debe, actuar como enfriador, disminuyendo la alta temperatura del motor. Por otra parte, debe de actuar como sello para impedir fugas, y actuar como detergente, para mantener limpio el motor, ayudado por otro aditivo que permita mantener en suspensión y dispersar las partículas contaminantes acumuladas, tales como el polvo y la tierra.

2.4.3 Clasificación de los aceites lubricantes

Debido a la gran cantidad de lubricantes que se fabrican actualmente, se han desarrollado clasificaciones o normas que delimitan el uso y la aplicación de los mismos.

Estas normas se van actualizando constantemente para adaptarlas a las continuas innovaciones tecnológicas que se han incorporado a los motores.

En su elaboración colaboran todas las partes interesadas como son:

- Los constructores de vehículos.
- Los fabricantes de lubricantes.
- Otros organismos civiles y usuarios.

Las clasificaciones de los lubricantes se realizan atendiendo a dos aspectos fundamentales:

Clasificación por la viscosidad. Los aceites para motor se clasifican en diferentes grados de viscosidad que definen su utilización según la temperatura a la que se encuentra el motor. La clasificación más importante es la SAE.

Clasificación por las condiciones de servicio. Los aceites se clasifican por las diferentes condiciones de servicio que tienen que soportar en el motor según el tipo o las características técnicas del mismo. El aceite se somete a estas condiciones en laboratorio o realizando pruebas sobre los motores en banco. Las clasificaciones más importantes son: API, ACEA, militares y fabricantes de vehículos.

Todas las clasificaciones se van actualizando periódicamente para cubrir las necesidades de funcionamiento de los nuevos motores y cumplir con las últimas normas sobre contaminación.

Todos los envases de los aceites lubricantes para motor que se venden en el mercado indican como mínimo dos de las clasificaciones indicadas anteriormente: SAE y API.

2.4.3.1 Clasificación SAE

La clasificación SAE fue creada por la Society of Automotive Engineers (Sociedad Norteamericana de Ingenieros del Automóvil). Esta clasificación toma como referencia la viscosidad del aceite lubricante en función de la temperatura a la que está sometido durante el funcionamiento del motor, por lo que no clasifica los aceites por su calidad, por el contenido de aditivos, el funcionamiento o aplicación para condiciones de servicio especializado o el tipo de motor al que va destinado el lubricante: de explosión o diésel. Establece una escala numérica de aceites de motor de 10 grados SAE, que comienza en el grado SAE 0, indicativo de la mínima viscosidad de los aceites o de su máxima fluidez. Conforme el número del grado va aumentando, la viscosidad se va haciendo mayor y el aceite es más espeso.

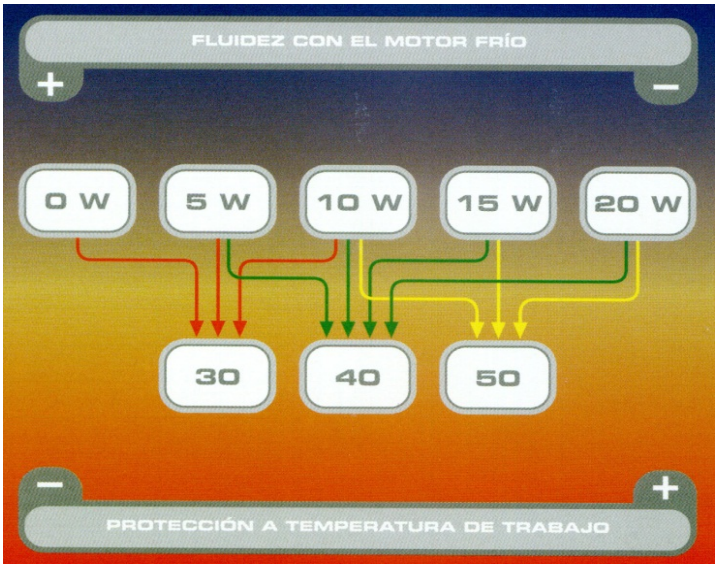


Figura 13: Clasificación del aceite en función de la temperatura a la que está sometido durante el funcionamiento del motor

En el primer grupo la viscosidad se mide a una temperatura de - 18º C, lo que da una idea de su viscosidad en condiciones de arranque en frío y está dividido en los seis grados SAE siguientes: SAE 0W, SAE 5W, SAE 10W, SAE 15W, SAE 20W, y SAE 25W. La letra W es distintiva de los aceites que se utilizan en invierno y proviene del inglés (Winter).
Estos grados indican la temperatura mínima de utilización del aceite conservando su viscosidad para circular bien por las tuberías y llegar a los lugares de lubricación con rapidez y a la presión adecuada, facilitando el arranque en frío.

Por ejemplo: un aceite clasificado SAE 10W, permite un arranque rápido en frío del motor hasta temperaturas mínimas de -20º C. El aceite SAE 15W nos garantiza el arranque rápido del motor en frío hasta temperaturas mínimas de -15º C.

En el segundo grupo la viscosidad se mide a una temperatura de 100º C, lo que da idea de la fluidez del aceite cuando el motor se encuentra funcionando en caliente. En este grupo se establecen cuatro grados SAE como son: SAE 20, SAE 30, SAE 40 y SAE 50. En el Anexo I se indican valores de viscosidad y temperatura de utilización el aceite para esta clasificación.

Los motores modernos son cada vez más rápidos y están construidos con menor tolerancia de montaje entre las piezas, lo que requiere la utilización de aceites de bajo grado SAE, con la fluidez suficiente para circular libremente y que formen películas de espesor más fino manteniendo el grado de lubricación. Debido a esto, los fabricantes cada vez recomiendan más aceite multigrado de baja viscosidad como son los aceites SAE 5W-30 y SAE 10W-40.

2.4.3.2 Clasificación API

El API (Instituto Americano del Petróleo) es una organización técnica y comercial que representa a los elaboradores de productos de petróleo en los Estados Unidos. A través de su asociación con la SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) y ASTM (Sociedad Americana para Ensayos de Materiales), han desarrollado numerosos ensayos que se correlaciona con el uso real y diario (motores/vehículos). Cada motor tiene, de acuerdo con su diseño y condiciones de operación, necesidades específicas que el lubricante debe satisfacer. Se puede entonces clasificar a los aceites según su capacidad para

desempeñarse frente a determinadas exigencias. API ha desarrollado un sistema para seleccionar y recomendar aceites para motor basado en las condiciones de servicio. Cada clase de servicio es designada por dos letras. Como primera letra se emplea la “S” para identificar a los aceites recomendados para motores nafteros, para autos de pasajeros y camiones livianos “Service” y la letra “C” para vehículos comerciales, agrícolas, de la construcción y todo terreno que operan con combustible diésel “Comercial”. En ambos casos la segunda letra indica la exigencia en servicio, comenzando por la “A” para el menos exigido, y continuando en orden alfabético a medida que aumenta la exigencia. (Ensayos de performance han sido diseñados para simular áreas y condiciones críticas de lubricación en el motor). La clasificación API es una clasificación abierta. Esto significa que se van definiendo nuevos niveles de desempeño a medida que se requieren mejores lubricantes para los nuevos diseños de motores. En general, cuando se define un nuevo nivel el API designa como obsoletos algunos de los anteriores.

2.4.3.3 Aceites monogrado

Si consideramos cada uno de los grados SAE definidos anteriormente de forma individual, obtenemos los denominados aceites monogrado ya que se designan por un solo grado de viscosidad, que puede ser de invierno o de verano, e indica los márgenes de temperatura dentro de los cuales, este aceite tiene un buen comportamiento.

Los aceites monogrado son apropiados para su uso en zonas sometidas a pocos cambios de temperatura ambiente a lo largo del año. Si existen cambios importantes de invierno a verano, es necesario utilizar aceites de un grado SAE bajo para el invierno (SAE 10 W) y otro aceite de grado SAE alto, para utilizar en verano (SAE 40).

Entre los aceites monogrado se encuentran los siguientes:

SAE 40. Usado para motores de trabajo pesado y en tiempo de mucho calor (verano).
SAE 30. Sirve para motores de automóviles en climas cálidos.
SAE 20. Empleado en climas templados o en lugares con temperaturas inferiores a 0º C. Antiguamente se utilizaba para el rodaje de motores nuevos. Actualmente no se recomienda su uso.
SAE 10. Empleado en climas con temperaturas menores a 0º C.

Los aceites monogrado no son solicitados actualmente por ningún fabricante de vehículos, dado lo limitado de su funcionamiento a diferentes temperaturas. Solamente son utilizados en situaciones especiales como por ejemplo motores con problemas de compresión, etc.

2.4.3.4 Aceites multigrado

Cuando existen cambios importantes en la temperatura ambiente de una zona o de un país, se puede utilizar también aceite multigrado, de forma que, con la utilización de un solo aceite, se cubre la lubricación del motor durante todo el año.

Estos aceites, se formulan para mantener estable la viscosidad frente a los cambios de temperatura y cumplir con los requerimientos de más de un grado de esta clasificación por lo que se pueden utilizar en un rango de temperaturas más amplio que los aceites monogrado.

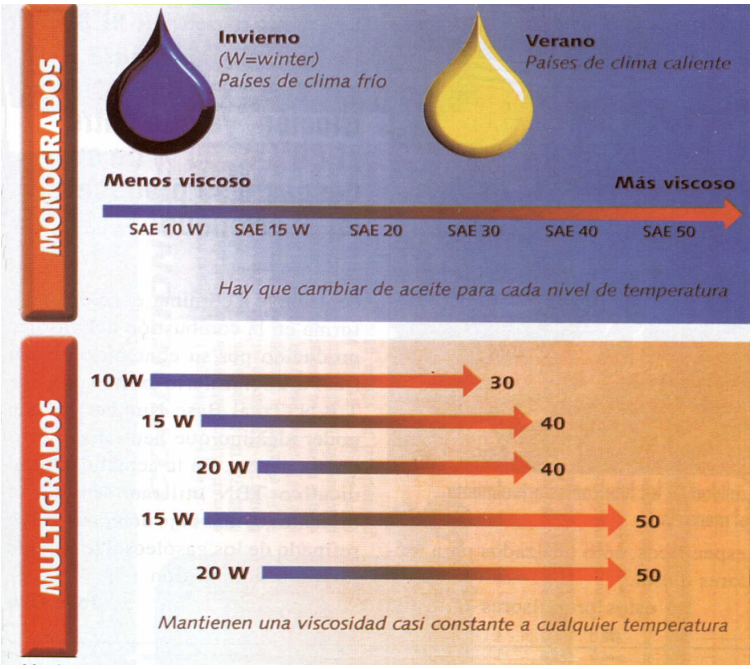


Figura 14: Comparativo entre aceites monogrado y multigrado

Estos aceites se identifican por dos grados SAE, pertenecientes uno a cada grupo de los mencionados anteriormente, como, por ejemplo: SAE 10W40. Esto indica que este aceite se comporta como un SAE 10W cuando el motor se encuentra a bajas temperaturas, manteniendo la fluidez adecuada y favoreciendo el arranque en frío del motor, y como un SAE 40, más espeso, cuando el aceite del motor se encuentra entre 60º y 85º C durante el funcionamiento del motor.

Así para una mayor protección en frío, se deberá recurrir a un aceite que tenga el primer número lo más bajo posible y para obtener mayor grado de protección en caliente, se deberá incorporar un aceite que posea un elevado número para el segundo.

En la Figura 14 se muestra una comparación entre los aceites monogrado y multigrado en sus campos de aplicación. Los aceites multigrado presentan una serie de ventajas sobre los monogrado como son:

- Son más estables ante los cambios de temperatura.
- Llegan rápidamente a las piezas debido a su baja viscosidad en frío.
- Permiten un arranque más rápido del motor en frío, con un menor desgaste del mismo, mayor vida útil de la batería y del motor de arranque. Esto se comprueba no solamente en climas fríos, sino también a temperaturas ambiente moderadas como 20º C. La diferencia entre un multigrado y un monogrado en estos casos es notoria ya que el primero establece la lubricación adecuada en la mitad de tiempo que el segundo.
- Eliminan la necesidad de cambios estacionales del aceite.
- Presentan mejores prestaciones para el trabajo a bajas temperaturas ya que los huelgos en los motores modernos son cada vez menores, el aceite debe fluir más rápidamente para llegar a las piezas vitales del motor especialmente la lubricación del turbocompresor.
- También se comportan muy bien a altas temperaturas, con una película más resistente a altas cargas que la de los aceites monogrado con una disminución del desgaste general del motor.

- Existe un ahorro importante de lubricante, ya que se logra un excelente sellado en la zona entre los segmentos y el pistón reduciendo el paso de aceite hacia la cámara de combustión, donde se quema tras lubricar el segmento superior.
- Existe un ahorro de combustible debido a su mayor fluidez a bajas temperaturas. Esto se debe a que reduce las pérdidas de energía en el arranque y a su mayor capacidad para reducir la fricción en las zonas calientes y críticas del motor, gracias a los aditivos estabilizadores del índice de viscosidad.
- Mejoran sensiblemente la oxidación por degeneración.

2.4.4 Variables para análisis de aceites

2.4.4.1 Viscosidad:

Es probablemente la 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. Para evaluar numéricamente la viscosidad de un aceite lubricante, existen una serie de ensayos, los cuales varían en mayor o menor grado, pero se basan en el mismo principio.

Para realizar estos ensayos se utiliza el viscosímetro Saybolt, que consiste en un recipiente destinado a contener el fluido cuya viscosidad se quiere determinar y donde en su parte inferior dispone de un orificio de diámetro normalizado. Este recipiente se halla a su vez dentro de otro que le sirve de baño termostático para poder determinar viscosidades a distintas temperaturas. En este equipo una vez obtenido el tiempo de vaciado de un volumen de muestra a través del uso de ecuaciones se obtiene la viscosidad para el fluido ensayado.

Se presentan dos tipos de Viscosimetro Saybolt:

- Viscosimetro Saybolt Universal: El tiempo correcto en segundos para dejar fluir una muestra de 60 ml a través de un orificio universal calibrado en condiciones específicas. Sirve para líquidos livianos que tengan tiempos de vaciado mayores a 32 y menores a 1000 segundos (fuera de estos valores se observan viscosidades erróneas). Consta de una punta universal (SSU). Los valores de viscosidad se dan en segundos Saybolt Universal, abreviado SSU, a temperaturas especificadas que oscilan entre 25 y 99 C°.
- Viscosimetro Saybolt Furol: El tiempo correcto en segundos que tarda en fluir 60 ml de una muestra, a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. La viscosidad Furol es aproximadamente 1/10 de la viscosidad universal, y es aplicada a productos derivados del petróleo con viscosidades mayores a 1000 segundos universales. La denominación ‘’Furol’’ proviene de la contracción de las palabras ‘’Fuel and Road Oil’’. Consta de una punta Furol (SSF), sirve para líquidos pesados donde los tiempos de caída sean superiores a 25 segundos. Los valores de viscosidad se dan en segundos Saybolt Furol, abreviado (SSF), a temperaturas especificadas, que estén entre 25 y 99C°.

2.4.4.2 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. Por método de crepitación son detectados los volúmenes de agua mayores al 0,1%. Con la prueba del contenido de agua es posible determinar el porcentaje presente en un volumen dado de muestra.

2.4.4.3 Índice de viscosidad (IV):

La disminución de la viscosidad con el aumento de la temperatura es una característica indeseable de los lubricantes. Este índice mide la capacidad del lubricante para mantener el valor de viscosidad con la temperatura, respecto de aceites tomados como referencia:

- IV=0, aceites nafténicos del golfo de México (cadenas cerradas)
- IV=100, aceites parafínicos de Pennsylvania (cadenas abiertas)

Las viscosidades a 40 ^{0}C y a 100 ^{0}C se han adoptado por convención para calcular el IV según la Ecuación 1, donde L es la viscosidad a 40 ^{0}C de un aceite con IV=0 y la misma viscosidad a 100 ^{0}C que el aceite bajo estudio, U es la viscosidad a 40 ^{0}C del aceite estudiado y H es la viscosidad a 40 ^{0}C de un aceite con IV=100 y la misma viscosidad a 100 ^{0}C que los otros dos.

$$IV = (L-U) / (L-H) * 100$$

De modo práctico, se puede entender al índice de viscosidad como un número que refleja cuánto podrá variar la viscosidad del lubricante ante los cambios de temperatura, correspondiendo los mayores valores a aquellos aceites que presentan menor variación.

Este indicador, se obtiene a través de un ensayo de laboratorio, en la cual se contrastan los valores de dos aceites patrones versus el lubricante que deseamos evaluar.

No debemos confundir, ni mal interpretar este importante valor con los datos correspondientes a la viscosidad del lubricante, ya que según hemos visto, son cosas distintas. En motores y otros sistemas donde las oscilaciones de temperaturas son muy significativas, el uso de aceites lubricantes con altos índices de viscosidad es altamente necesario. Inclusive, para atenuar o contrarrestar las pérdidas de viscosidad por efecto del aumento de temperatura, son utilizados productos o aditivos añadidos, que están basados en moléculas poliméricas sensibles.

2.4.4.4 Punto de inflamación:

Es la temperatura mínima a la cual se genera una suficiente cantidad de vapor, tal que, mezclado con aire, se quemará al ser encendido, produciendo una combustión instantánea, conocido como flash point. La norma ASTM D 92 determina el ensayo a realizar. Usualmente en un motor en buenas condiciones, el mismo debe crecer ligeramente. Su descenso indica dilución con combustible.

2.4.4.5 Densidad:

La medición de la densidad se rige por la norma ASTM D1298, se utiliza principalmente para fines comerciales, ya que los productos líquidos de petróleo son negociados en forma volumétrica

No solo las partículas sólidas afectan la densidad del fluido, también lo hacen otros contaminantes, como el aire y el agua. Ambos tienen un marcado impacto en la densidad.

La oxidación influye también en la densidad del fluido. Conforme esta avanza, se incrementa la densidad del aceite.

2.5 Efectos del uso de biodiesel

Hoy en día, hay muchas preocupaciones acerca de la compatibilidad de los materiales usados comúnmente en automóviles, con el biodiesel. En el sistema de combustible de un automóvil, materiales metálicos como aleaciones ferrosas y no ferrosas, y elastómeros entran en contacto con el combustible. El biodiesel, al tener diferentes características químicas que el diésel, interactúa con estos materiales de diferente manera. Esto puede causar corrosión y ataque tribológico en los componentes metálicos, y degradación en los elastómeros.

En los sistemas de combustible de los motores diésel, el combustible pasa a través de tres subsistemas: el de alimentación, el de combustión y el de emisión de los gases de escape. En la Figura 10, se muestra un esquema del circuito de combustible.

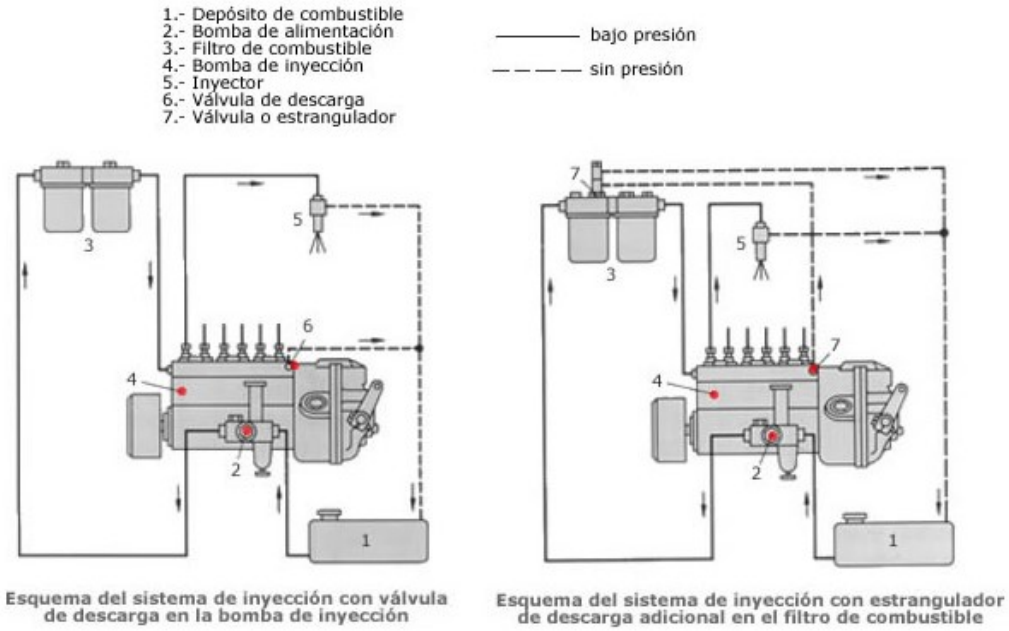


Figura 15: Diagrama esquemático del sistema de combustible de un motor diésel

Circuito de combustible

El subsistema de alimentación ayuda a extraer el combustible desde el tanque y entregarlo a los inyectores de varios cilindros. Consiste en un tanque, en un filtro preliminar de combustible, una bomba de alimentación, un filtro, una bomba inyectora, inyectores y líneas de conexión. Para motores con bomba de inyección en línea, es necesaria una bomba alimentadora. Ésta normalmente se encuentra acoplada a la de inyección, y suministra combustible desde el tanque, a través de un filtro, al circuito a una presión conveniente, que oscila entre 1 y 2 bares, garantizando el llenado completo de los cilindros de la bomba de inyección. El sobrante de este combustible tiene salida a través de la válvula de descarga situada en la bomba anteriormente mencionada (también puede estar en el

filtro), retornando al depósito. Esta válvula de descarga controla la presión del combustible en el circuito. Según las condiciones de funcionamiento del motor y de sus características constructivas, se requieren distintos sistemas de alimentación de la bomba de inyección. La bomba inyectora alimenta a una presión que puede alcanzar los 1200 bares, a través de las líneas de alta presión, a las toberas para inyectar el combustible en los cilindros. La bomba alimentadora, en conjunto con la de inyección, trabajan durante todo el tiempo de funcionamiento del motor diésel, lo cual significa que sus componentes sufren desgaste. En las bombas en línea y en los inyectores hay una menor dependencia del combustible para la lubricación, sin embargo, hay algunos componentes deslizantes en los cuales el combustible por sí mismo provee lubricación. En la zona de combustión, el combustible se quema una vez que es inyectado. Este subsistema, consiste de un block de cilindros, la camisa del cilindro, la culata, las válvulas de entrada y salida, los pistones, los aros de los pistones, el perno y la biela. El subsistema de emisión de gases de combustión consiste principalmente en el colector de escape, el catalizador y el silenciador.

Durante el recorrido del combustible a través de los distintos subsistemas, entra en contacto con una amplia variedad de materiales metálicos y no metálicos. En el siguiente cuadro se detallan los principales materiales usados en los componentes del sistema de combustible de un motor diésel [7].

Partes principales	Componentes	Materiales
Tanque de combustible	Cuerpo Juntas	Acero, plástico, revestimiento Elastómeros, papel, corcho, cobre
Bomba de alimentación de combustible		Aleación de aluminio, aleaciones a base de hierro, aleaciones a base de cobre
Líneas de combustible	Alta presión Baja presión	Acero Plásticos, gomas
Filtro de combustible	Filtro cartucho Cuerpo	Papel Aluminio, plástico
Bomba de combustible		Aleación de aluminio,, aleaciones a base de hierro, aleaciones a base de cobre
Inyector de combustible		Acero inoxidable
Cilindro	Tapa de cilindro Camisas Válvulas	Fundición de hierro gris, fundición de aluminio Fundición de hierro gris, aluminio Fundición de acero
Ensamble del pistón	Pistón Perno Aros Cojinetes Biela	Fundición de aluminio en molde de arena, fundición de aluminio a presión, aluminio forjado, fundición de hierro gris Acero Fundición de hierro especial, acero Aleación de cobre Acero, aleación de aluminio
Sistema de escape	Manifold de escape Cañerías de escape Catalizador Silenciador	Fundición de hierro Acero Acero inoxidable, fibra cerámica, fibra de aluminio Acero

Cuadro 11: Materiales comúnmente usados en sistemas de combustible en motores diésel

Los materiales metálicos incluyen aleaciones ferrosas como acero y hierro fundido, y no ferrosas como aleaciones de aluminio, y aleaciones de cobre. Elastómeros, plásticos, pinturas y papel entre otros, son los materiales no metálicos más comunes. El combustible entra en contacto con estos materiales a diferentes temperaturas, velocidades y cargas, así como también con componentes deslizantes, causando de esta forma corrosión, desgaste y degradación.

La compatibilidad de los materiales de sellos y mangueras utilizados comúnmente en los sistemas de combustible de automóviles que usan combustibles convencionales derivados del petróleo, ha sido especificada ya hace tiempo, y los fabricantes de

elastómeros están en condiciones de hacer recomendaciones para su uso. Sin embargo, hay menos información disponible sobre la compatibilidad de estos materiales con el biodiesel o mezclas de éste, y la preocupación viene dada por el hecho de que al tener estos combustibles diferentes estructuras químicas –dado que el diésel es una mezcla de hidrocarburos mientras que el biodiesel es una mezcla ésteres de ácidos grasos-, los efectos sobre los polímeros también serán distintos.

El biodiesel es más susceptible a la oxidación que los combustibles a base de petróleo, y esto genera inconvenientes tanto en el propio biocombustible, como en los materiales que están en contacto con él. Cuando el biodiesel se oxida –por exposición al aire y/o ciertas condiciones de almacenamiento-, se producen hidroperóxidos en los puntos insaturados de los ácidos grasos que luego se descomponen en aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos de cadena corta. Todo esto genera una serie de cambios en las propiedades del combustible, como ser el índice de acidez, el índice de peróxido, la viscosidad, el índice de yodo y el índice de metilésteres afectando directamente su calidad y convirtiendo a la oxidación en un fenómeno de gran importancia [40]. Por otro lado, los productos generados por la oxidación del biodiesel, pueden difundir en sellos, mangueras y o'rings, y promover su degradación. Este daño puede ser incluso mayor, cuando el proceso de oxidación es acompañado por "swelling" o hinchazón del material. Inclusive, estos polímeros cuentan con agentes de curado, estabilizadores y plastificantes, que pueden migrar al combustible, generando un impacto inmediato en las propiedades del material [41].

A continuación, se hará una breve reseña bibliográfica de los estudios realizados por diversos autores sobre los efectos del uso de biodiesel como combustible en motores diésel. El objetivo es tener una visión general del estado actual del conocimiento sobre el tema y la problemática planteada. Esto luego se utilizará como antecedentes para el análisis de resultados y posterior elaboración de conclusiones.

2.5.1 Compatibilidad de materiales poliméricos en contacto con biodiesel

La resistencia química de un polímero a un fluido en particular está relacionada a la interacción entre ambos, la cual es dependiente tanto de la estructura del polímero como de la naturaleza del fluido. La resistencia química puede variar desde excelente, para el caso en que haya poca o nula interacción entre el polímero y el fluido, hasta pobre, donde el fluido disuelve o degrada completamente al polímero. Entre estos dos extremos, la exposición del polímero al fluido puede causar que el mismo se hinche, reduzca su módulo elástico y resistencia a la tracción, o hasta su lixiviación [42]. La reducción en las propiedades de un material polimérico en presencia de un solvente agresivo puede ser atribuida a un proceso de degradación química debido a la hinchazón y a la relajación de los enredos de la cadena, además de la reducción en la interacción entre cadenas [43].

Estudios y experiencias de uso han demostrado que ciertos sellos, juntas y mangueras de combustible entre otros componentes, pueden degradarse bajo ciertas condiciones de operación en contacto con B100. La mayoría de los materiales poliméricos sufrirá algún cambio físico o químico al entrar en contacto con biodiesel. El grado de cambio dependerá de la tendencia del material para absorber combustible, y de la cantidad de compuestos que se disuelvan o se extraigan por el combustible, variando esto, según el tipo de polímero y materia prima del biodiesel. Algunos de los cambios en las características físicas son hinchazón, contracción, fragilidad y modificaciones en las propiedades de tracción [3]. Actualmente, caucho de nitrilo (NBR), politetrafluoroetileno (PTFE), policloropreno (CR), monómero de etileno propileno dieno (EPDM), caucho de silicona (S), y fluorocarbono (FKM) son algunos de los materiales elastoméricos más usados en los motores diésel.

Los elastómeros son polímeros viscoelásticos con propiedades mecánicas tales como bajo módulo de Young y alto límite elástico producido principalmente por un mecanismo de reticulado -crosslinking- de compuestos entre los que se incluyen cauchos como precursores de la red, plastificantes, estabilizadores y agentes antioxidantes y de

curado [44]. Estos materiales tienden a hincharse cuando son sumergidos en un solvente, como por ejemplo, el biodiesel. Este fenómeno, conocido como swelling, está relacionado a un incremento en el volumen del material debido a su interacción con un solvente que no es capaz de solubilizarlo, y por lo tanto éste queda retenido en el material. Esto se establece cuando existe una afinidad química entre el soluto y el solvente, en este caso, el polímero y el biodiesel. Hay un principio general que describe este fenómeno, que se conoce como ''like dissolves like''. Las sustancias polares son más propensas a disolverse en solventes polares, mientras que las sustancias no polares, son más fáciles de disolver en solventes no polares [5]. Para un disolvente polar, los extremos positivos de sus moléculas atraen los extremos negativos de las moléculas del soluto y, por lo tanto, se crea una fuerza intermolecular conocida como interacción dipolo-dipolo. El grado de interacción de este tipo de fuerza entre el soluto y el biodiesel, es mayor que la generada entre el soluto y el diésel proveniente del petróleo, dado la diferencia en la afinidad química que se produce consecuencia de la polaridad de los ésteres presentes en el biocombustible [45]. Por lo tanto, se esperaría que el fenómeno de ''swelling'' en un mismo material elastomérico sea mayor en biodiesel que aquel producido por el contacto con combustible diésel. Además, si las interacciones solvente-polímero son predominantes sobre las interacciones polímero-polímero, máxima hinchazón puede ser obtenida en el material [46]. Por otro lado, todas las moléculas también presentan fuerzas intermoleculares débiles llamadas fuerzas de Dispersión de London por las cuales los núcleos positivos de los átomos de la molécula del soluto atraen los electrones negativos de los átomos de la molécula del disolvente. Esto le da al solvente una mayor capacidad para solvatar las moléculas de soluto [47].

Rudbahs y Smigins [48], compararon la degradación de propiedades físicas tales como hinchazón y elongación, a partir de o´rings y mangueras, de seis tipos de elastómeros: monómero de etileno propileno dieno (EPDM), goma de nitrilo (NBR), caucho de butadieno de nitrilo hidrogenado (HNBR), material de fluorocarbono (FKM), y dos materiales de poliamida (PA 10.10 y PA 12.12) en contacto con diésel, biodiesel de colza y un corte de B30. Observaron que las propiedades en las probetas de material fluorocarbonado (FKM) no fueron seriamente influenciadas por el biodiesel o su mezcla, y que el material más perjudicado fue el EPDM. En lo que respecta al NBR, sufrió un aumento en su espesor, pero mantuvo sus propiedades en el ensayo de elongación, con respecto a la probeta base, es decir, la que no estuvo en contacto con combustible. La secuencia global de elastómeros compatibles en el biodiesel de colza fue: FKM>PA 10.10>PA 12>NBR>HNBR>EPDM.

Haseeb et al. [49], investigaron el efecto del biodiesel en el comportamiento a la degradación del NBR y el fluoro-vitón A. Luego de realizar ensayos de inmersión, observaron que el NBR aumentó su masa al incrementar la concentración de biodiesel, mientras que el fluoro-vitón se mantuvo prácticamente igual. En cuanto a propiedades como resistencia a la tracción y elongación, nuevamente el NBR fue el más perjudicado, disminuyendo las mismas significativamente.

Lei Zhu et al. [5], estudiaron el comportamiento del NBR en contacto con diésel, y biodiesel proveniente de diferentes materias primas, entre ellas aceite de soja, de palma y aceite usado de cocina. Encontraron que el biodiesel es menos compatible con el NBR que el diésel. Este material es un copolímero de goma sintética, de acrilonitrilo y butadieno, que es una sustancia polar. De esta forma, cuando se sumergen las muestras en un solvente como el biodiesel, tienden a hincharse o degradarse. La parte polar del biodiesel, que se encuentra presente en los ésteres, interactúa con la parte polar del NBR a través de interacciones dipolo-dipolo, y causa la hinchazón, por lo cual parecería que estas interacciones son más fuertes que en el caso del combustible diésel. Por otro lado, observaron que los cambios en masa, volumen y propiedades mecánicas fueron mayores para el caso del aceite de soja, por lo que concluyeron que éste, es menos compatible para su uso con NBR, que el de palma y el aceite usado. Los resultados se justificaron, comparando los valores obtenidos a través del método de los Parámetros de Solubilidad de Hansen (HSP) y el número ácido de los diferentes biocombustibles, el cual se considera un valor representativo del efecto corrosivo y degradativo del biodiesel [50]. Los HSP, son parámetros fisicoquímicos utilizados para estimar las fuerzas de interacción responsables de

la compatibilidad de los diferentes materiales. Se basan en la suposición de que la energía cohesiva (E) puede ser dividida en tres partes, que corresponde a la dispersión atómica (E_d), a las interacciones dipolo molecular (E_p) y a las interacciones de enlaces hidrógeno (E_h). De la misma forma, el parámetro de solubilidad total (δ_t) puede ser dividido en tres componentes que corresponden a los diferentes tipos de interacciones moleculares mencionados anteriormente, llamados, de dispersión (δ_d), polar (δ_p) y enlaces hidrógeno (δ_h). En comparación con el aceite de palma y el aceite usado, el de soja presentó una menor diferencia en estos parámetros con el NBR, además de presentar un número ácido mayor, lo que serviría de explicación para lo observado. La conclusión que obtuvieron es que la estructura molecular, y por lo tanto la materia prima del biodiesel, afecta su compatibilidad con los materiales elastoméricos**.** Esto justificaría la contradicción que se presenta con lo estudiado por Rudbahs y Smigins en cuanto a los resultados obtenidos para el NBR, quienes utilizaron biodiesel de colza. Alves et al. [19] investigaron el impacto del uso de biodiesel de palma y de soja, en las propiedades mecánicas e hinchazón, en o´rings de NBR y FKM. Para esto realizaron pruebas de inmersión (ensayo estático) y de presión (ensayo que simula al elastómero en condiciones de servicio). Comprobaron que a medida que aumenta la concentración del biodiesel, aumenta el porcentaje de peso ganado y es mayor la pérdida de masa luego de un proceso secado que sufre el NBR, mientras que estos parámetros para el caso del FKM se mantienen casi constantes, para ambos combustibles. En cuanto a las propiedades mecánicas como resistencia a la tracción y dureza, se observó algo similar. Para el NBR estas propiedades se vieron reducidas en comparación con las muestras crudas, mientras que el KFM solo sufrió pequeños cambios**.** Por lo mencionado, concluyen que el tipo de KFM estudiado es más adecuado para su uso en o'rings del sistema de inyección que utilizan biodiesel, que el NBR.

Bessee and Fey [51] examinaron el efecto de la exposición de varios elastómeros comunes en biodiesel de soja y cortes de éste con diésel. Reportaron que el NBR, nylon 6/6 y el polipropileno de alta densidad exhibieron cambios en sus propiedades físicas mientras que el Teflón, y dos tipos de Viton no se vieron afectados. El consenso general es que los elastómeros fluorados difícilmente sean afectados por el biodiesel [52].

Considerando otros tipos de materiales poliméricos, como por ejemplo el polietileno utilizado en tanques de automóviles, no mucha información se pudo encontrar respecto a su compatibilidad con biodiesel. El polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos, y es un material generalmente usado para la elaboración de tanques de combustible. M. M. Maru et al. [53] estudiaron la interacción de este material proveniente de un tanque de combustible, con tres tipos de combustible: diésel, biodiesel de soja y biodiesel de girasol. Observaron que en los tres casos, el material ganó peso, es decir se produjo el fenómeno de swelling. Lo interesante es que la mayor ganancia de peso se dio para el caso en que el material estuvo expuesto al diésel, siendo bastante mayor que para el caso de los biocombustibles. Aun así, la variación de peso del material en contacto con el diésel fue muy pequeña, del orden de 10^{-4}gramos, la cual a partir de los 75 días se mantuvo estable.

2.5.2 Compatibilidad de materiales metálicos en contacto con biodiesel

Algunos autores enfocan sus ensayos en la medición del desgaste del motor al utilizar biodiesel, como también la influencia de éste sobre el aceite lubricante.

Entre éstos se destacan los ensayos realizados por Clark et al. [54], quienes monitorearon el desgaste de un motor estacionario mediante el análisis del contenido de metales del aceite lubricante que arrojó niveles de desgaste normales.

Pischinger et al. [55] midieron el desgaste del motor en sus ensayos con biodiesel, con una frecuencia de un día. Al desarmar el motor y medir el desgaste en cada una de sus partes, anillos, cilindro, etc., encontraron que el desgaste del motor estaba en condiciones normales.

Shäfer [56] enfocó su atención en el aceite lubricante, y afirmó que los productos de la combustión incompleta entran al aceite por medio de los anillos del pistón, se diluyen en éste y generan una disminución en su viscosidad; hecho evidenciado también por Choo et al. [57], quienes reportaron igualmente una pequeña dilución del biodiesel en el aceite lubricante. La pérdida de viscosidad del aceite lubricante puede llegar hasta el 5% [58].

Se ha comprobado que el uso de diésel bajo en azufre presenta problemas de lubricidad en el sistema de suministro de combustible [59]; dichos problemas desaparecen al utilizar biodiesel, debido a la lubricidad de éste, lo cual incrementa la vida de los motores.

Según Staat et al. [60], en los motores de inyección directa se presenta una reducción en la viscosidad del aceite lubricante cuando se utiliza como combustible mezclas B50 o superiores, lo cual no genera cambios en el desgaste del motor ni en las otras propiedades del lubricante, mientras que en motores de inyección indirecta no se presenta la reducción de viscosidad.

Shumacher et al. [58] presentan un informe del seguimiento a 12 vehículos con motores diésel de inyección directa, en ruta durante un período de 8 años, empleando combustible diésel como referencia y mezclas B1, B2, B20, B50 y B100 de metilésteres y etilésteres de aceite de colza, soja y canola. En este estudio se analizó el aceite lubricante, para establecer el ritmo de desgaste de cada motor al utilizar los diferentes combustibles. Las muestras del aceite lubricante se tomaron en cada cambio para ser analizadas por espectrometría y registrar la cantidad en partes por millón de los metales presentes en el aceite, tales como hierro, cobre, cromo, silicio, plomo y aluminio. Del análisis estadístico se concluyó que el uso del biodiesel reduce la cantidad de aluminio, hierro, cromo y plomo presentes en el aceite lubricante de los motores diésel. Al comparar la información arrojada por el biodiesel de colza y el del soja se estableció que no hay diferencia estadística apreciable entre la cantidad de metales encontrados en los aceites lubricantes, por lo cual los autores afirman que el uso del biodiesel no genera un mayor desgaste que el uso del diésel. Resultados similares había obtenido Romig en 1995 [61].

Masjuki et al. [62] y Serdari et al. [63] mostraron que los niveles de partículas metálicas (Cu, Al, Fe, Pb, Cr) fueron normales para todas las mezclas diésel-biodiesel, incluyendo el B100, lo que les permitió concluir que el biodiesel probado no afecta la vida útil del motor.

Tinaut et al. [64], en sus ensayos de duración, realizados con B10 en un vehículo, durante 22.500 Km, obtuvieron un comportamiento adecuado del motor, pues la calidad del aceite resultó correcta en todas las muestras, incluso se pudo aumentar el período de cambio de aceite.

2.5.3 Comportamiento del aceite de lubricación en contacto con biodiesel

Uno de los puntos importantes a tener en cuenta a la hora de considerar el uso de biodiesel como combustible en motores diésel, es su compatibilidad con el aceite de lubricación. Muchos esfuerzos se están realizando para incrementar la vida útil del aceite lubricante, dado que los costos del mismo equivalen al 6%-7% de los costos de operación totales. Avinash Kumar Agarba [65] realizó un ensayo de 512 horas sobre dos motores de encendido por compresión con diferentes combustibles, con el objetivo de extraer conclusiones sobre el comportamiento tribológico de muestras de aceite. Uno se realizó con gasoil puro y el otro con un corte gasoil-biodiesel (biodiesel de linaza) del 20%. A partir del análisis de datos de estos ensayos se concluyó que el biodiesel puede ser adoptado como un combustible alternativo para los motores diésel convencional sin realizarles ninguna modificación importante. Algunos de los resultados más relevantes fueron los siguientes:

- La viscosidad del aceite vegetal se redujo drásticamente después de la esterificación.
- Estudios comparativos sobre varias muestras de aceite lubricante indicaron que la densidad aumenta con el uso.

- La cantidad de posibles contaminantes como debris por desgaste, hollín, resinas, productos de oxidación de aceite y presencia de humedad, fue menor en el caso del sistema de combustible biodiesel. A su vez, el tamaño de las partículas de desgaste también fue menor.
- Se observó una mejora del rendimiento del sistema de biodiesel como combustible debido a las propiedades auto- lubricantes que este posee. Esto resulta en un menor desgaste de las piezas vitales en movimiento.
- La viscosidad del aceite lubricante baja con el uso, debido principalmente a la dilución de combustible. El grado de dilución de combustible era significativamente menor en el caso del sistema de biodiesel.
- El punto de inflamación (flash point) de los aceites de ambos sistemas disminuyó con el uso, pero el grado de disminución fue menor en el caso del biodiesel
- Se observó que la estabilidad a la oxidación de los aceites lubricantes del sistema de biodiesel como combustible era ligeramente inferior a la del aceite de lubricación del sistema de diésel como combustible.

Sobre la base de los estudios realizados, se llegó a la conclusión de que los combustibles de origen biológico son superiores en el rendimiento que los convencionales, favorables al medio ambiente, biodegradables y no causan problemas de calentamiento global.

Por otro lado el Ingeniero de lubricación Antonio Ciancio [66] explica los resultados obtenidos en la utilización de combustible con corte de biodiesel B20. Una empresa de transporte había extendido el período entre cambios de aceite a los 16000 Km, aproximadamente el cambio se hacía cada dos meses de trabajo, que es muy satisfactorio para el servicio urbano de colectivos. El lubricante era un mineral multigrado SAE 15W-40, con niveles de calidad MB 228.3, API CG-4/SG, Volvo VDS-2. La utilización del combustible B20 no implicó ninguna restricción en dicho período, lo cual se consideró un verdadero éxito, es decir que con las tecnologías actuales de lubricantes como Mobil Delvac MX 15W-40 se puede dar servicio perfectamente a los vehículos que utilicen Biodiesel

Por sus características el biodiesel potencialmente puede empeorar los siguientes parámetros del aceite usado:

1) Dilución por Gas Oil y Carga de Hollín: el Biodiesel tiene mayor viscosidad que el Gas Oil, y eso influye mucho en el tamaño de las gotas en el "spray" que genera el inyector (las gotas son más grandes y por eso tardan más en quemarse, es decir que las gotas "viajan más lejos" en la cámara de combustión (además tiene menor volatilidad o tendencia a la evaporación, por lo cual no disminuye el tamaño de las gotas durante el viaje al mismo ritmo que el diésel) y llegan a tocar a las paredes de cilindro, como líquido, y allí pueden pasar por el laberinto que forman los aros de pistón y sus ranuras; llegan al cárter y diluyen al aceite: el efecto inmediato es una caída en la viscosidad del aceite.

La otra alternativa, dependiendo de las condiciones de operación, es que las gotas se transformen en hollín y se adhieran a las paredes de cilindro, las superficies relativamente más frías dentro de la cámara de combustión, formando una superficie muy lisa, como pulida, que a veces se llama "cristalizada" en el lenguaje coloquial del taller. Ese hollín, además de ir "tapando" las ranuras de pistón también es rascado por el paquete de aros y pasa al cárter y su efecto es el de espesar al aceite

Así vemos que se pueden producir dos fenómenos de efectos opuestos sobre la viscosidad y que se compensan dependiendo del modo operativo del motor: en funcionamiento frío o de baja carga predomina la dilución (cae la viscosidad), mientras que a plena potencia o alta temperatura es más importante la generación de hollín, eso sí, ambos efectos se unen para otro efecto negativo como es el consumo de lubricante: si la película en la zona de aros de pistón se adelgaza por dilución, el aceite "viaja" más rápido hacia la cámara de combustión atravesando "más hábilmente" al laberinto.

El resultado es que se quema más aceite lo cual repercute negativamente en el consumo por otro mecanismo, con más hollín llegamos al mismo resultado: la superficie espejada de negro hollín tapa a las rayas del mecanizado original de las paredes de cilindro

(típicamente de lapidado) que justamente el fabricante realiza para que el aceite quede retenido sobre las paredes de cilindro- Sobre una superficie muy lisa
el aceite es arrastrado en cantidad inconvenientemente alta hacia la cámara de combustión y aumenta el consumo - Además, como las ranuras se van llenando con hollín, los aros no se mueven correctamente y tampoco pueden asentarse correctamente sobre las "caras" de las ranuras, es decir no cumplen bien con su función de sellado.

2) Pérdida de la Fluidez en Frío: esto es consecuencia directa de la interacción de la glicerina remanente en el Biodiesel, por una mala separación en el proceso de fabricación. Este subproducto del biocombustible a menudo se denomina como "cera no parafínica" en la bibliografía americana, y el riesgo es que ingrese al cárter, también como consecuencia de la dilución del aceite por el proceso descripto anteriormente.

Hay un complejo proceso de interacción y reacción entre la glicerina y las parafinas del aceite que hacen que el aceite se ponga muy viscoso a bajas temperaturas, llegando a afectar el arranque en frío del vehículo aún en clima no tan severo

Ejemplo: Motor Perkins trabajando en un grupo electrógeno, con B100 (Biodiesel al 100%) en el norte del país. En menos de 800 hs. de trabajo el motor falló completamente (fundido) con el aceite del cárter convertido en una verdadera masa alquitranosa, sin fluidez alguna.

El laboratorio interviniente, sin ser novato en lo absoluto, no predijo adecuadamente a las 334 horas los incipientes indicios de alta dilución por combustible (baja viscosidad del aceite en un 16%, punto de inflamación en 208 °C, casi al límite; y además se usó un método para medir dilución por gasolina, que no tiene buena discriminación con el combustible diésel.

Conclusiones

Un motor diésel puede funcionar satisfactoriamente con combustible biodiesel sin modificaciones de hardware del motor. Se ha encontrado que la esterificación es una técnica efectiva para prevenir problemas de uso asociados con la utilización de aceites vegetales tales como taponamiento del filtro de combustible, carbón en el inyector, formación de depósitos de carbón en la cámara de combustión, anillo pegado y contaminación de aceites lubricantes. Los depósitos de carbón en la parte superior del pistón y en inyectores se ven reducido utilizando cortes B20.

El desgaste de varias partes vitales se redujo hasta un 30 por ciento por las propiedades adicionales de lubricación del biodiesel. Estos resultados de las mediciones de desgaste por métodos físicos también se confirmaron por espectroscopia de absorción atómica.

Los estudios de análisis de aceite demostraron ser una herramienta poderosa para estimar no solo la condición de los motores, sino también de las partes móviles de los mismos. Además, estas pruebas proporcionaron información valiosa y relevante sobre el efecto del combustible en el sistema de aceite lubricante. Con el estudio de contenido de ceniza, que representa que representa principalmente restos de desgaste se encontró que era menor en el caso de un sistema con B20.

Otro de los estudios realizados sobre los aceites lubricantes fueron para la estimación de desgaste individual de las partes vitales del motor como pistón, anillos de pistón, revestimiento del cilindro, etc. Se realizó espectroscopia de absorción atómica en el lubricante. Éste indicó que el combustible biodiesel provocó un menor desgaste de las partes móviles, a partir de la menor cantidad de desechos metálicos como Fe, Cu, Zn, Mg, Cr, Pb y Co presentes en muestras de aceite lubricante. Cada elemento, que está presente en el aceite en forma de residuos de desgaste, se originó de una parte móvil diferente. Tal análisis demuestra que no solo las características de rendimiento sino también las de desgaste de las piezas móviles son mejores para un B20.

En base a los estudios presentados, se concluye que los combustibles de origen biológico son superiores, frente al desgaste, a los combustibles convencionales, respecto

del medio ambiente, biodegradable, y no aporta a problemas de calentamiento global. El biodiesel se puede adoptar fácilmente como uno de los combustibles sustitutos para los motores diésel existentes, que son ampliamente utilizados en el sector agrícola del país.

2.5.3.1 Efectos del Biodiesel en el funcionamiento del motor.

La calidad del aceite es fundamental para lubricar las piezas en movimiento del motor y limitar su desgaste. En todos los motores el lubricante siempre se contamina con el combustible que pasa, en pequeñas cantidades, al cárter de aceite a través de los aros. El diésel es más liviano que el aceite y reduce la capacidad de este para lubricar el motor, con el tiempo los componentes químicos del aceite y el combustible comienzan a formar aglomeraciones y finalmente se convierte en un lodo espeso, dificultando el movimiento del aceite y dañando el motor.

Normalmente existe mayor dilución del aceite en motores diésel de inyección directa que en motores de inyección indirecta.

A principios de los 80 Volkswagen realizo pruebas de durabilidad en motores de inyección directa e indirecta utilizando 100% biodiesel. Se observó que en el motor con inyección indirecta no existieron daños o alteraciones fuera de lo normal en su funcionamiento, pero en el motor con inyección directa se encontró que la dilución del aceite era superior a los límites permitidos y se demostró que el espesamiento del aceite ocurría más rápido que en los motores de diésel a base de petróleo, debido a la composición química del biodiesel. Para asegurar que estos daños no ocurrieran, Volkswagen utilizará mezclas iguales o inferiores a B30.

Actualmente estos problemas se han solucionado gracias a las mejoras en los aditivos que usan los aceites, volviéndolos más resistentes a la dilución, esto da cabida al uso de mezclas mayores.

Otro estudio sobre el comportamiento del biodiesel en el aceite demostró que debido a su alto grado de lubricidad se reduce las partículas de metal y carbón aumentando la vida útil del motor.

Pruebas realizadas en Canadá y Estados Unidos, con distintas mezclas, comprobaron reducciones significativas de partículas de metal en el aceite, en un caso se observó una disminución de limaduras del 30 %, utilizando una mezcla B10. Los diferentes tipos de partículas en el aceite están asociadas a diferentes desgastes de las partes del motor. Ejemplo:

-Hierro: desgaste de las paredes de los cilindros, árbol de levas y cigüeñal.
-Aluminio: desgaste de los pistones.
-Cobre y plomo: desgaste de los cojinetes.
-Cromo: desgaste de los anillos de los pistones.
-Silicio: desgaste de los componentes de los filtros de combustible y de aceite.

Mediante pruebas realizadas a un motor Cummins 5,9L de inyección indirecta [67], que utilizó biodiesel puro y que estuvo en funcionamiento por 160000km, se encontró un desgaste igual o inferior al de un mismo motor que uso diésel convencional, esto debido a la reducción de partículas de carbón. En general las pruebas muestran que en los motores que utilicen mezclas iguales o menores a un 20% y sin importar el tipo de sistema de alimentación, no presentarán desperfectos en el motor e incluso aumentarán la vida útil de éste, pero en motores con inyección directa con mezclas mayores que B20 se puede producir espesamiento del aceite.

Volkswagen realizó una prueba de durabilidad con el objetivo de investigar el comportamiento del biodiesel en motores diésel existentes, utilizando vehículos y motores de producción en línea. Estas pruebas fueron realizadas con B100 en motores diésel 1.6L de inyección directa, en bancos de prueba o en vehículos como el Passat.

Nº de cilindros 4 en línea
Proceso de combustión Cámara de torbellino
Cilindrada 1.588 cm3
Diámetro/carrera 76.5 mm/86.4 mm
Relación de compresión 23
Bomba de inyección rotativa
Especificaciones del motor VW 1.6L

La prueba contemplo 1.000 horas de operaciones a máxima potencia y 300 a torque máximo. Se analizaron más de 19 muestras de aceite lubricante y al final de la prueba se desarmo el motor para examinar el desgaste. Las muestras de aceite mostraron niveles admisibles de sólidos y alcalinidad.

El desgaste de los aros de pistón, los cojinetes de fricción, las camisas de cilindros y los asientos de válvulas se encontraron dentro de las especificaciones de Volkswagen y son consideradas como desgastes normales. En las pruebas realizadas a motores con inyección directa, bajo las mismas condiciones, los desgastes del motor estuvieron dentro de las especificaciones, pero nuevamente se apreció una mayor dilución del aceite cuando se utilizó B100.

Actualmente, la evolución tecnológica de los motores hacia un mejor consumo y menos emisiones contaminantes logró indirectamente una menor dilución del aceite sea empleando diésel o biodiesel.

El Dr. Henry Espinoza Bejarano [68] evaluó el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de un lubricantes diésel ante la dilución con biodiesel, para la cual se utilizó aceite lubricante con estándares internacionales de fabricación, para motor diésel SAE 15W-40, marca Valvoline, tipo VALVODIESEL API CI4 “ALL-FLEET SUPER MOTOR OIL”. Se seleccionó una muestra de biodiesel producido con estándares internacionales, 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. 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). 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.

CAPÍTULO 3

Metodología de trabajo

3.1 Introducción

En este capítulo se realiza una descripción completa de los ensayos de inmersión, de tracción y los realizados sobre el banco de prueba al motor Pertrak.

En primer lugar, se darán a conocer los combustibles y lubricantes utilizados nombrando la normativa bajo la cual se encuentran y brindando características específicas para cada caso. A partir de esto se detalla puntualmente cada paso a realizar para llevar a cabo el ensayo de inmersión identificando los cortes de gasoil-biodiesel a utilizar, los tipos de materiales a utilizar y la confección de probetas.

Luego se realiza una reseña del motor Pertrak, del banco de pruebas a utilizar en el ensayo de larga duración y de los procedimientos a realizar al momento de tomar las muestras de aceite para analizar.

3.2 Combustibles y lubricantes utilizados para los ensayos

3.2.1 Combustible base

El combustible utilizado a lo largo de todo el estudio como base y como mezcla para realizar los cortes gasoil-biodiesel, fue adquirido en una estación de servicio YPF. El mismo es diésel común con alto contenido de azufre, cumpliendo con la ley 26093/06 y con las resoluciones 1283/06 y 478/09 de la Secretaría de Energía. Las especificaciones técnicas y métodos de análisis del combustible se detallan en el siguiente cuadro. Se usa comúnmente en el campo en motores estacionarios de riego y en vehículos de transporte de carga que no cuentan con sistema electrónico de inyección common-rail.

ANÁLISIS TÍPICOS

Ensayos	Unidad	Método	ULTRADIESEL
Densidad a 15 °C	g/cm3	ASTM D-1298/4052	0,845
Viscosidad a 40 °C	cSt	ASTM D-445	3,4
Número de cetano		ASTM D-613	50
Punto de inflamación	°C	ASTM D-93	50
Destilación 90%	°C	ASTM D-86	355
Biodiésel *	% vol.	EN 14078	10
Azufre	mg/kg	ASTM D-4294	780
Lubricidad (HFRR a 60 °C)	micrones	ASTM D-6079	300
POFF **	°C	IP-309	-
Color		Visual	Ámbar

(*) De acuerdo con la Resolución 1125/13 de la Secretaría de Energía.
(**) La operabilidad se relaciona con la temperatura ambiente de la zona, en las diferentes estaciones del año.

Los datos procedentes de análisis típicos no conforman una especificación, los mismos son representativos de valores estadísticos de producción.

Cuadro 12: Análisis de combustible ultradiésel de YPF

3.2.2 Biodiesel

El biodiesel, a base de aceite de soja (SME, soybean methyl ester por sus siglas en inglés), fue donado por la empresa “Patagonia Bioenergía S.A.” y cumple con las normas internacionales ASTM 6751 y EN 14214. Éste se utilizó en la preparación de todos los cortes gasoil-biodiesel para las pruebas de inmersión, así como también para el ensayo del motor.

3.2.3 Aceite

En el ensayo de larga duración realizado a un motor Pertrak 4 cilindros diésel se utilizó aceite HD Suplemento 1 de YPF SAE 40, el cual es un lubricante monogrado para motores de cuatro tiempos, de composición mineral, con alta resistencia a la oxidación y propiedades antiherrumbre, antidesgaste y detergentedispersante. En el siguiente cuadro se detallan las características del mismo suministradas por el fabricante.

: ENSAYOS	: UNIDAD	: METODO ASTM	: PRODUCTOS				
			10W	20W	30	40	50
Grado SAE	----	----	10W	20W	30	40	50
Viscosidad a 100 °C	CSt	D-445	5,0	6,0	11,0	15,0	19,0
Indice de Viscosidad	----	D-2270	95	95	90	90	90
Punto de Inflamación	°C	D-92	205	210	220	230	235
Punto de Escurrimiento	°C	D-97	-30	-21	-18	-15	-9

→ Los datos precedentes de Análisis Tipicos no conforman una especificación, los mismos son representativos de valores estadisticos de producción.

Cuadro 13: Análisis de aceite HD suplemento 1

3.3 Procedimiento experimental: ensayo de materiales poliméricos

3.3.1 Identificación de los cortes gasoil-biodiesel

Para la realización de los ensayos de inmersión se prepararon un total de 5 combustibles en recipientes de 2700 ml. Los cortes de los mismos fueron 10%, 25%, 50%, 75% y 100%. A continuación, se detalla cómo se identificaron los distintos combustibles:

- B10 SME – recipiente 1. Este es el corte que trae por defecto el combustible base, según lo establecido por la secretaría de Energía.
- B25 SME – recipiente 2.
- B50 SME – recipiente 3
- B75 SME – recipiente 4
- B100 SME – recipiente 5.

3.3.2 Materiales poliméricos utilizados

Para la realización del estudio, se seleccionaron distintos elementos que entran en contacto con el combustible. De esta forma se pudo disponer de seis diferentes polímeros,

los cuales constituyen los materiales comúnmente usados en el sistema completo de inyección de combustible, que abarca desde el tanque de combustible, pasando por las cañerías, hasta la bomba inyectora. Los materiales ensayados fueron:

- PTFE (politetrafluoroetileno – teflón)
- PVC (policloruro de vinilo)
- Tela de poliéster
- Elastómero de caucho fluorado (VITON)
- NBR (goma de nitrilo butadieno)
- HDPE (polietileno de alta densidad)

3.3.3 Muestras para ensayo

3.3.3.1 Mangueras

Se utilizaron tres tipos de mangueras para el estudio:

- Manguera blanca: PTFE (politetrafluoroetileno – teflón)
- Manguera negra: Tela de poliéster
- Manguera cristal: PVC (policloruro de vinilo)

Las mismas fueron compradas en casa de repuestos de automóviles. Estos tres tipos de mangueras se utilizan como cañería de combustible tanto en vehículos comerciales como en motores estacionarios que cumplen diversas funciones.

3.3.3.2 O'rings

Se utilizaron cuatro tipos de o'rings para el estudio:

- O'ring negro: NBR (goma de nitrilo butadieno)
- O 'ring marrón: VITON (elastómero de caucho fluorado)
- O' ring verde chico: VITON (elastómero de caucho fluorado)
- O' ring verde grande: VITON (elastómero de caucho fluorado)

Los o'rings de VITON son utilizados para sellado en bombas inyectoras. Éstos eran nuevos y fueron donados por un laboratorio diésel. Los o'rings de NBR fueron adquiridos en casa de repuestos de automotores, y los mismos se utilizan para sellado de pérdidas de combustible y/o lubricante.

3.3.3.3 Probetas del tanque

Estas probetas se confeccionaron a partir de un tanque de combustible, el cual se adquirió en una casa de repuestos. El mismo pertenecía a una camioneta Peugeot Partner HDI (diésel). El material de las probetas es polietileno de alta densidad (HDPE).

3.3.4 Confección y rotulado de probetas

Con el fin de rotular las distintas probetas, se utilizaron chapitas aportadas por el Taller de Tecnología Mecánica. Estas fueron realizadas a través corte por estampado. Cada chapa fue rotulada con un lápiz eléctrico con la letra y/o número correspondiente a cada probeta.

3.3.4.1 Mangueras

Para los casos de las mangueras, ya sea cristal (PVC), negra (Tela de poliéster) o blanca (PTFE), se siguieron los criterios de confección establecidos en la norma ASTM D3039M – 95, obteniéndose de esta forma probetas de sección completa, de 150 mm de largo. Para cada tipo de material se confeccionaron 24 probetas, cuyas dimensiones se especifican en el siguiente cuadro.

	Largo (mm)	Dext (mm)	Esp. pared (mm)	Sección (mm2)
PVC	150	8.7	2	42.09
PTFE	150	8	1	21.99
Tela de poliéster	150	12	2.4	72.38

Cuadro 14: Dimensiones probetas de mangueras

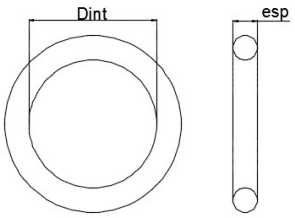
Designación para rotulado:

- ✓ Manguera de PTFE: Número de probeta + B, ejemplo: 1B
- ✓ Manguera de Tela de poliéster: Número de probeta + N, ejemplo: 1N
- ✓ Manguera de PVC: Número de probeta + A, ejemplo: 1A

3.3.4.2 O'rings

En este caso, como muestra de prueba se utilizó el mismo o 'ring sin realizarle ninguna modificación, según norma ASTM D1414-95. Las dimensiones de los mismos se detallan en el siguiente cuadro.

	Dint. (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm)
Vitón (marrón)	8	2	6.2832
NBR (negro)	38	2	6.2832
Vitón (verde chico)	18	2	6,2832
Vitón (verde grande)	28	2	6.2832



Cuadro 15: Dimensiones o'rings

Nota: la sección de trabajo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Sección} = \pi \times (\text{espesor}/2)^2 \times 2 = \pi \times \text{espesor}^2/2$$

Designación para rotulado y numero de probetas

- ✓ O 'ring de vitón: Número de probeta + M, ejemplo: 1M 24 probetas
- ✓ O 'ring de NBR: Número de probeta + F, ejemplo: 1F 18 probetas
- ✓ O 'ring de vitón: Número de probeta + V, ejemplo: 1V 12 probetas
- ✓ O' ring de vitón: Número de probeta + VG, ejemplo: 1VG 12 probetas

3.3.4.3 Probetas de tanque

La confección de las mismas se basó en la norma ASTM D-412. A partir del tanque de combustible se obtuvieron recortes, tratando de obtener espesores uniformes. Con estos recortes, y utilizando una copiadora, perteneciente al Taller de Mecánica de la facultad, se confeccionaron las probetas correspondientes, copiando la forma de una probeta tipo hueso aportada por el Laboratorio de Química de la facultad. Se obtuvieron un total de 18 probetas

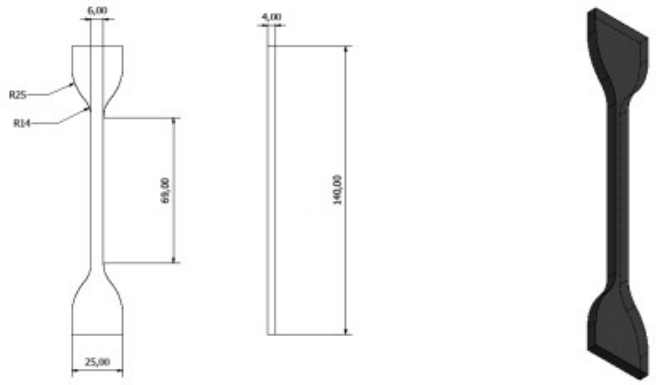


Figura 16: Dimensiones de probetas tipo hueso del tanque de combustible

Designación para rotulado:

- ✓ Probeta de HDPE: Número de probeta

3.3.5 Preparación de los cortes para ensayos de inmersión

Se utilizaron frascos de vidrio con una capacidad de 3000ml. Para el ensayo de inmersión se usaron 2700 ml de combustible para que no se produzca el rebalse del mismo al introducir las probetas.

A cada frasco se le colocó un mallado de alambre para poder colgar mediante ganchos las probetas. Estos últimos estaban unidos a la chapa que rotulaba cada muestra. Todos los frascos fueron identificados con una estampa en la que se indicaba el corte de biocombustible, tal como se muestra en la Figura 17.

Figura 17: Preparación de los cortes para ensayo de inmersión

A continuación, se detalla qué probetas fueron colocadas en cada frasco y qué porcentaje de biodiesel contenía cada uno de ellos.

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Frasco 5	Frasco 6
	B10	B25	B50	B75	B100	Aire
Manguera amarilla	1A 2A 3A 4A	5A 6A 7A 8A	9A 10A 11A 12A	13A 14A 15A 16A	17A 18A 19A 20A	21A 22A 23A 24A
Manguera blanca	1B 2B 3B 4B	5B 6B 7B 8B	9B 10B 11B 12B	13B 14B 15B 16B	17B 18B 19B 20B	21B 22B 23B 24B
Manguera negra	1N 2N 3N 4N	5N 6N 7N 8N	9N 10N 11N 12N	13N 14N 15N 16N	17N 18N 19N 20N	21N 22N 23N 24N
O'ring marrón	1M 2M 3M 4M	5M 6M 7M 8M	9M 10M 11M 12M	13M 14M 15M 16M	17M 18M 19M 20M	21M 22M 23M 24M
O'ring negro	1F 2F 3F	4F 5F 6F	7F 8F 9F	10F 11F 12F	13F 14F 15F	16F 17F 18F
O'ring verde chico	1V 2V	3V 4V	5V 6V	7V 8V	9V 10V	11V 12V
O'ring verde grande	1VG 2VG	3VG 4VG	5VG 6VG	7VG 8VG	9VG 10VG	11VG 12VG
Probeta tanque	1 2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15	16 17 18

Cuadro 16: Distribución de probetas en frascos

En el siguiente cuadro se detallan las proporciones de gasoil comercial y de biodiesel utilizado en cada corte, teniendo en cuenta que el primero ya contiene un 10% de biodiesel.

Corte de biosiesel	Cantidad de biodiesel total (ml)	Cantidad de gasoil puro (ml)	Cantidad de gasoil comercial (ml)	Cantidad de biodiesel para el corte (ml)
B10	270	2430	2700	0
B25	675	2025	2250	450
B50	1350	1350	1500	1200
B75	2025	675	607,5	2092,5
B100	2700	0	0	2700

Cuadro 17: Contenido de gasoil y biodiesel en cada corte

Por ejemplo, en el caso de B25, el 25% de 2700ml, es decir, 675ml, es la cantidad total de biodiesel que debe tener el corte, y 2025ml la cantidad de gasoil puro. Si tenemos en cuenta que el gasoil comercial contiene un 10% de biodiesel, 2025ml representa el 90% de gasoil puro en el volumen total, por lo que la cantidad que hay que agregar en el frasco es de 2250ml de gasoil comercial, y 450ml de biodiesel, para que se cumpla la proporción. Para determinar las cantidades en el resto de los cortes, se hace el mismo análisis.

3.3.6 Ensayos de inmersión

3.3.6.1 Mediciones gravimétricas de muestras

Se realizó el pesaje con una balanza analítica de precisión 0,0001 gramos, perteneciente a la División Metalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UNMdP. Este proceso se realizó con el fin de obtener la cinética de absorción de fluido por parte de los materiales. Durante todo el proceso, los combustibles se mantuvieron a temperatura ambiente. Para determinar la frecuencia del pesaje se realizó un ensayo de inmersión

preliminar, con una probeta de cada material a utilizar. El objetivo fue determinar en qué períodos los materiales presentaban la mayor tasa de absorción de combustible, y de esta forma realizar la mayor cantidad de pesajes en esos momentos para poder trazar gráficos representativos del comportamiento de absorción. A partir de ello se determinó la siguiente frecuencia de pesaje: durante los primeros 5 días se realizó un pesaje diario. Durante la segunda semana un pesaje cada 2 días. A partir de allí durante un mes, una vez por semana y luego se realizó un pesaje por mes aproximadamente.

Antes de realizar la inmersión de las probetas en el frasco correspondiente, se realizó un pesaje en seco.

El proceso de inmersión se llevó a cabo durante un lapso de 6 meses realizando un total de 17 pesajes incluyendo el que se realizó en seco.

3.3.6.2 Recolección y registro de datos

El procedimiento de recolección y registro de datos se realizó de a un frasco a la vez, primero el 1, luego el 2, y así sucesivamente, de la siguiente manera:

1- Se retiraron todas las probetas del frasco correspondiente.
2- De a una probeta por vez, se le quitó el rótulo, se limpió y se secó con papel absorbente, de forma tal que la ganancia de peso refleje solo el fluido difundido dentro del material. Luego se pesó.
3- El valor obtenido, se registró en una planilla, en la cual se indicó las horas acumuladas desde el inicio del ensayo, tipo y material de la probeta, y corte de biocombustible correspondiente.
4- Se rotuló la probeta nuevamente, y se procedió con la siguiente.
5- Cuando se terminó de pesar todas las probetas, se las introdujo nuevamente en su frasco, y se continuó con el siguiente, repitiendo los pasos anteriormente mencionados.
6- Una vez registrados los valores, se calculó para cada una de las probetas su variación porcentual de peso a lo largo del tiempo, a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta M\ \% = \frac{(Mi - M1)}{M1} x100$$ Variación porcentual de peso, siendo:

M1: peso de la probeta antes de la inmersión
$Mi_{i=1..16}$: peso de la probeta en cada medición

Con los valores obtenidos, se calculó para cada tipo de probeta (mangueras, o 'ring, probeta tanque de combustible) el promedio de su variación porcentual de peso, y la respectiva desviación estándar en cada uno de los cortes de combustible.
Los resultados obtenidos se detallan en el Anexo A: Resultados de pesaje de probetas.

7- Se graficó para cada probeta, su comportamiento de absorción en función del tiempo, para los distintos cortes de gasoil-biodiesel

3.3.7 Ensayos de tracción

3.3.7.1 Caracterización mecánica.

Los ensayos de tracción fueron realizados según la norma ASTM D3039-95 sobre probetas de sección completa en mangueras, y según norma ASTM D1414M-95 en el caso de los o'rings, no siendo modificada la geometría original de estos últimos. Para las probetas

tipo hueso, confeccionadas a partir del tanque de combustible, se aplicó la norma ASTM D638-03.

Todas las pruebas se realizaron a temperatura ambiente. Las muestras se retiraron de su envejecimiento una hora antes del ensayo con el fin de lograr una temperatura uniforme en las mismas.

Para todos los ensayos se utilizó un dinamómetro INSTRON 4467 perteneciente al INTEMA. La velocidad de ensayo utilizada fue de 50 mm/min. La sujeción de las mangueras y de las probetas del tanque se realizó mediante mordazas. Para la sujeción de los o'rings se fabricó un dispositivo bajo norma, con pernos en función del diámetro interno de las probetas.

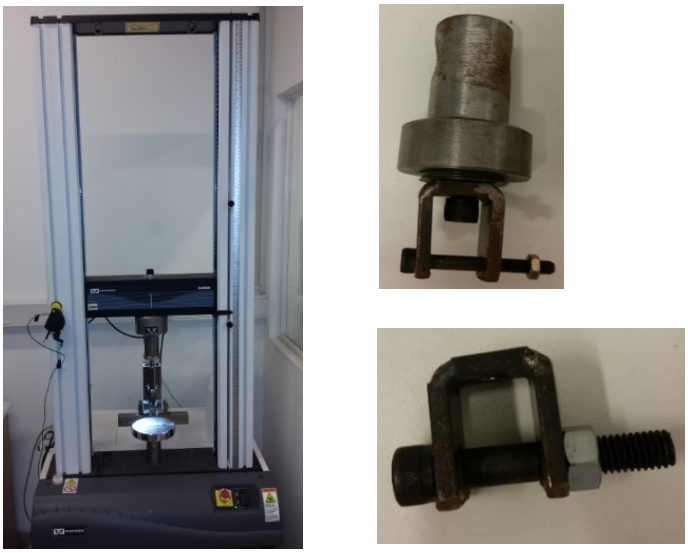


Figura 18: Dinamómetro Instron 4467 y dispositivos de sujeción para o´rings

Se obtuvieron registros tensión-deformación, a partir de los cuales se calcularon el módulo elástico, carga máxima y la resistencia a la tracción del material.

3.4 Procedimiento experimental: ensayo del motor

Los ensayos de funcionamiento se realizaron en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la UNMdP, sobre un motor marca Pertrak 4-203, cuyas válvulas y pistones se encontraban recubiertos con barreras térmicas de cerámica colocadas en un proyecto anterior.

Se empleó un freno dinamométrico hidráulico, marca Go-Power de 500 hp de capacidad. El motor funcionó durante 30 horas con un corte B50 y se extrajeron muestras de aceite lubricante cada 10 horas de funcionamiento. El aceite lubricante utilizado fue de la petrolera YPF, HD suplemento 1 SAE30.

3.4.1 Características generales motor Pertrak.

- ✓ Marca / Modelo Perkins / 4.236
- ✓ Tipo Ciclo Diésel, 4 tiempos e inyección directa.
- ✓ N° de cilindros 4, en línea
- ✓ Diámetro y recorrido (carrera) del émbolo 98,43 mm x 127 mm

- ✓ Cilindrada 3,86 litros
- ✓ Relación de compresión 16:1
- ✓ Orden de encendido 1-3-4-2
- ✓ Sentido de giro, visto de frente a la derecha
- ✓ Potencia máxima: (DIN 70020) 75 CV a 2200 rpm
- ✓ Par máximo: DIN 70020 28,1 m.kgf a 1400 rpm
- ✓ Tipo de camisas Secas y reemplazables.
- ✓ Sistema de lubricación: tipo a presión, bomba de aceite de engranajes, con válvula de alivio incorporada.
- ✓ Sistema de Alimentación de Combustible: bomba elevadora de combustible de diafragma, accionada por un camón del árbol de levas, con palanca de cebado manual.
- ✓ Filtro de combustible; 1, de papel especial, elemento de filtro recambiable, tapón de vaciado y vaso de sedimentos.
- ✓ Bomba inyectora CAV, Rotatoria, con regulador mecánico incorporado y anillo de dosis optimizado. Boquillas inyectoras de baja inercia, 4 agujeros de pulverización - sistema de inyección directa.
- ✓ Presión de trabajo: 175 atmósferas.
- ✓ Sedimentación taza reutilizable.
- ✓ Filtro de aire tipo seco, elemento doble (uno primario de papel y otro secundario de seguridad), prefiltro incorporado e indicador de obstrucción.
- ✓ Sistema de enfriamiento tipo presurizado con bomba de agua y termostato.
- ✓ Radiador - tipo de tubos verticales y aletas horizontales.
- ✓ Temperatura normal de trabajo 78° a 96°C
- ✓ Tapa del radiador: limita la presión del sistema en 7 psi
- ✓ Ventilador tipo aspirante, con 6 palas, accionado por correa trapezoidal.
- ✓ Bomba de agua tipo centrífuga.
- ✓ Termostato 1, elemento de cera. Comienzo de apertura a 80 °C. Apertura total a 98 °C. Recorrido total de apertura 8,9 mm.

3.4.2 Banco de pruebas

Este elemento de ensayo de motores se encuentra en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Es un Banco de la firma Sáenz que fue modernizado mediante la introducción de un sistema de adquisición de datos. Este realiza mediciones de potencia, torque, rpm y cuenta con canales auxiliares para cualquier tipo de sensor. El software permite construir gráficos y reportes comparativos para cualquier variable medida. Está equipado con arranque eléctrico trifásico compuesto de un mecanismo de trinquete acoplado a un motor eléctrico de 10 CV.

Este banco cuenta con un freno hidráulico que disipa la potencia comunicada por el motor en movimientos turbulentos del agua, que se opone a la rotación de un rodete dentro de una carcasa, provista de álabes y dividida en dos partes. La regulación del par de frenado se obtiene variando la distancia de las semicarcasas con relación al rodete y, por tanto, la resistencia que opone el agua.

Para conocer el valor de la potencia del motor que se está probando, es suficiente medir el par aplicado al freno, con lo que se obtiene el par de reacción, igual y contrario, en la carcasa o en el estator a través de dinamómetros. En efecto, conocido el régimen de rotación (fácilmente medible con un cuentavueltas), la potencia del motor se obtiene con la siguiente fórmula:

$$W= (C*n) /716,2$$

Donde W es la potencia en CV, C el par en (m x kg) y n el régimen de rotación en RPM

Cuenta con una base que sirve de soporte para el freno, el mecanismo de arranque y el protector del cardan. Además, tiene una batea que contiene el agua de salida del freno. Para transmitir el movimiento posee transmisión cardánica al motor con juntas homocinétic.

3.4.3 Condiciones de funcionamiento durante el ensayo

Para realizar el ensayo se utilizó Gasoil Ultra de YPF, adquirido en estaciones de servicio oficiales y biodiesel de soja aportado por la empresa Patagonia bioenergía S.A. El corte utilizado fue de 50% Gasoil puro y 50% biodiesel (B50), teniendo en cuenta que el gasoil comercial según legislación ya contiene 10% de este biocombustible.

El ensayo se realizó por una duración de 30 horas, durante el cual se tomaron muestras de aceite cada 10 horas para su posterior análisis.

A continuación, se detallan las condiciones de ensayo:

DÍA	HORA INICO	HORA FINALIZACIÓN	CANT. DE HORAS	HORAS ACUMUL.	RPM	TORQUE (kg.m)	POT. (CV)	PRESIÓN (Hpa)	TEMP. AGUA (°C)	TEMP. ACEITE (°C)	TEMP. AMB. (°C)	CONSUMO (lts)	CONSUMO (lts/h)	Nro MUESTRA ACEITE
30/9/2015	9:00	11:30	2,50	2,50	1400	22,1	41,5	1025	82	90	23	28	11,2	1
20/10/2015	9:30	11:00	1,5	4,00	1400	22	42,5	1013	85	90,5	25	15	10	1
21/10/2015	8:30	11:30	3	7,00	1400	22	43,3	1021	80	88,3	24,3	35	11,67	1
22/10/2015	8:15	11:15	3	10,00	1400	22,3	42,7	1023	85	88	25,3	35	11,67	1
27/10/2015	8:40	11:10	2,5	12,50	1400	22,2	42,6	1029	85	89,9	28,3	28	11,2	2
28/10/2015	8:30	10:00	1,5	14,00	1400	22	43,2	1028,6	80	90	26,2	15	10	2
3/11/2015	9:00	12:00	3	17,00	1400	21,8	42,5	1027,5	90	92,5	30	33	11	2
4/11/2015	18:50	20:50	2	19,00	1400	22,3	42,7	1031,7	80	87	24,3	20	10	2
5/11/2015	8:30	9:30	1	20,00	1400	21,6	41,7	1028,9	88	90,2	29,3	10	10	2
6/11/2015	9:00	12:00	2,5	22,50	1400	21,8	42,5	1028,9	80	88,6	31,3	25	10	3
9/11/2015	8:30	12:00	3,5	26,00	1400	21,2	42,1	1020,1	85	92,5	31,8	35	10	3
10/11/2015	8:15	11:45	3,5	29,50	1400	21,4	42,2	1024,2	90	95	31,9	35	10	3

Cuadro 18: Condiciones de ensayo motor Pertrak

3.4.4 Extracción y análisis de muestras de aceite lubricante

Se tomaron muestras de aceite lubricante cada 10 horas de funcionamiento del motor, como así también una muestra base sin uso. Teniendo un total de 4 muestras (0hs, 10hs, 20hs, 30hs). De esta forma se tendrá un parámetro para los posteriores análisis.

El análisis de las muestras de aceite fue realizado por el laboratorio de lubricantes perteneciente a la Base Naval de la ciudad de Mar del Plata.

Los análisis realizados fueron los siguientes:

- Viscosidad a 40 ^{0}C
- Viscosidad a 100 ^{0}C
- Agua por destilación (%)
- Densidad (gr. /ml.)
- Índice de viscosidad
- Punto de inflamación (^{0}C)

3.4.5 Desarmado del motor post ensayo

Luego de finalizar con el ensayo de larga duración, se precedió a desmontar el motor del banco de pruebas.

A partir de esto se retiró la totalidad del aceite lubricante como así también el agua de refrigeración. Luego se quitó el cárter para así poder retirar las tapas de biela y de esta forma extraer cada conjunto biela-pistón-aro con sus respectivos cojinetes para realizar una observación minuciosa respecto al posible desgaste sufrido por estas partes móviles.

Con respecto a la tapa de cilindros se retiró y se realizó una observación sobre la cámara de combustión y las cabezas de las válvulas, las cuales contaban con un recubrimiento cerámico.

Esta página se deja en blanco

CAPÍTULO 4

Resultados del uso del biodiesel en materiales poliméricos.

4.1 Introducción

Se evaluó la compatibilidad de diferentes materiales poliméricos al permanecer en contacto con biodiesel de soja, mediante la realización de ensayos de inmersión en cortes de B10, B25, B50, B75 y B100. Los materiales utilizados fueron goma de nitrilo butadieno (NBR), elastómero de caucho fluorado (VITÓN), politetrafluoroetileno (PTFE-teflón), policloruro de vinilo (PVC), tela de poliéster y polietileno de alta densidad (PEAD). También, se analizaron las tendencias de absorción con el fin de estudiar el comportamiento de los materiales en el tiempo.

Una vez finalizada la etapa inmersión, se procedió a realizar los ensayos de tracción de todas las muestras, junto con el grupo de probetas que no estuvieron en contacto con los combustibles.

El comportamiento de degradación de los diferentes materiales, se caracterizó mediante la medición de las variaciones de tres parámetros: peso, carga/tensión máxima y deformación a la rotura.

4.2 Resultados y discusión

4.2.1 Ensayos de inmersión: comportamiento de absorción

4.2.1.1 Resumen de resultados

En el Cuadro 19, se resumen los resultados de los pesos obtenidos luego de transcurridas 4248 horas de exposición continua a los distintos cortes de gasoil-biodiesel a temperatura ambiente T=20°C. Los valores obtenidos del pesaje de cada muestra, durante todo el período de exposición, se detallan en el Anexo A: Resultados de pesaje de probetas. Se puede observar en el caso de las mangueras, que las producidas a partir de PTFE prácticamente no se vieron influenciadas por el biodiesel en ninguno de sus cortes, con lo que se puede afirmar que es el material que presenta mejor compatibilidad con dichos combustibles. Por su parte el PVC y la tela de poliéster, parecen presentar mejor comportamiento en cuanto a términos de variación de peso, cuando son expuestos a combustibles con bajas concentraciones de biodiesel.

Respecto a los o'rings, se ve claramente que los materiales fluorocarbonados presentaron no solo una variación de peso mucho menor que el NBR, sino que también dicha variación se mantuvo aproximadamente constante para todos los cortes.

El polietileno de alta densidad, por su parte, presentó menores variaciones de peso a medida que el corte de biodiesel aumentó.

Tipo de Material	B10	B25	B50	B75	B100
Variación de peso en mangueras (%)					
PTFE	0,1399	0,1627	0,3424	0,098	0,077
PVC	2,1921	1,3631	-3,2291	-8,7192	-10,539
Tela de Poliéster	4,5207	6,25	13,2042	15,8902	19,0617
Variación de peso en o'rings (%)					

Tipo de Material	B10	B25	B50	B75	B100
NBR	5,4477	6,3911	8,0864	9,9535	13,1575
Vitón marrón	0,61	0,7856	0,8651	0,571	0,5147
Vitón verde (chico)	0,2974	0,5595	0,7817	0,7014	0,4742
Vitón verde (grande)	1,2526	0,5724	0,5646	0,8835	1,6492
Variación de peso en probetas del tanque (%)					
PEAD	3,6532	3,2721	2,5217	2,4617	1,8418

Cuadro 19: Resumen de resultados, luego de 4248 horas de inmersión en diferentes cortes de gasoil-biodiesel

4.2.1.2 Variación de peso y tendencias de absorción

Mangueras

El gráfico de la Figura 19 muestra que el comportamiento de absorción es muy distinto para los tres materiales de las mangueras. El PTFE demostró ser el más estable al contacto con el biodiesel, dado no solo a que la variación de peso se mantuvo prácticamente igual para todos los cortes (en ninguno de los casos dicha variación alcanzó el 1%), sino que también se obtuvieron valores muy inferiores respecto a los otros dos materiales. El comportamiento de este material frente a los distintos cortes de gasoil-biodiesel es similar al observado por Haseeb et al. [71], en cuanto a que la variación de peso sufrida para todos los cortes estuvo dentro del rango del 1% y fue el material menos perjudicado, con la diferencia que para el caso de este autor, el PTFE presentó una leve pérdida de peso. Esta ligera discrepancia puede deberse a que la materia prima utilizada para el biodiesel fue aceite de palma, mientras que en el presente trabajo fue de soja, por lo cual la interacción química entre el material y el combustible es distinta. De todas formas, la compatibilidad entre este material y los combustibles utilizados en los ensayos puede considerarse muy buena.

Por su parte, la manguera de tela-poliéster, fue la que mayor aumento de peso registró para todos los cortes de gasoil-biodiesel, destacándose que dicha variación, aumentó considerablemente a medida que aumentó el corte de biocombustible.

Con respecto a la manguera de PVC, ésta presentó un comportamiento totalmente distinto a los casos anteriores. Mientras que la tela de poliéster aumentó su peso con el aumento del corte de biodiesel, y el PTFE prácticamente no sufrió cambios, el PVC presentó una notable disminución de peso a medida que el corte fue mayor. Luego de todo el período de exposición, pudo observarse que se acentuó la pérdida de masa con el aumento de la concentración de biodiesel, teniendo como punto de referencia el peso inicial. Para cortes mayores a B25, el material presentó una variación negativa, es decir, se produjo una pérdida de material.

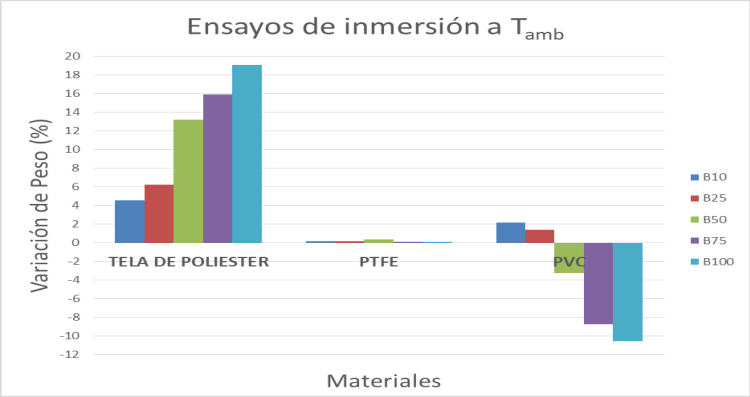


Figura 19: Variación de peso, de mangueras fabricadas en distintos materiales

En la Figura 20, Figura 21 y Figura 22, se pueden apreciar las tendencias de absorción en el tiempo de cada uno de los materiales de las mangueras.

Para el caso del PTFE, se observa un claro aumento de peso en la primera etapa de inmersión (hasta aproximadamente 200hs), para todos los cortes de gasoil-biodiesel. También se destaca el hecho de que los aumentos de peso, presentaron picos más altos a medida que aumentó la concentración del biocombustible. En el gráfico de la derecha se puede apreciar más claramente lo mencionado. Luego se ve un marcado descenso de peso en todos los cortes, salvo en el caso de B10. A partir de las 500hs se logró la estabilización en la tendencia de absorción, la cual se extendió hasta aproximadamente las 1500hs. De aquí en adelante, las variaciones de peso en todos los casos siguieron comportamientos similares, oscilando dentro de un rango acotado con una tendencia descendente hasta el final del ensayo. Al final del período de exposición, las variaciones porcentuales de peso se registraron en el orden de 0,14%, 0,16% y 0,34% para los cortes B10, B25 y B50, y de 0,09% y 0,07% para los cortes B75 y B100.

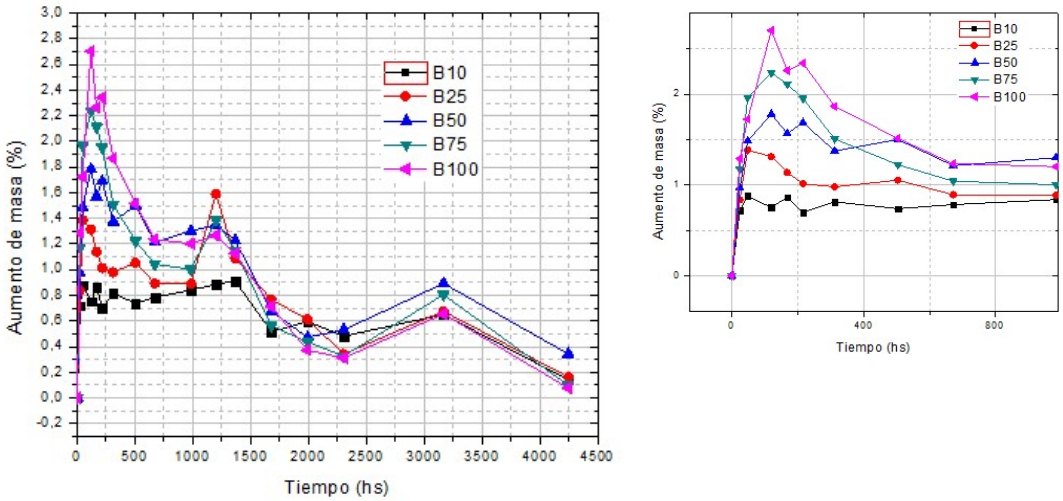


Figura 20: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para mangueras de PTFE

La tela de poliéster presentó una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, denotada por el incremento de masa de las muestras, hasta la estabilización en las 400hs aproximadamente. En el único corte que se observó una ligera disminución de peso durante este período fue en el B100. Asimismo, es posible apreciar que se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B10 y B25). El porcentaje final de aumento de masa se situó cercano al 4% en el caso del B10, y del 6% en el caso del B25. Para los cortes B50 y superiores se puede observar que no se alcanzó el equilibrio, aún para tiempos de exposición prolongados, con una pendiente lineal creciente luego del periodo de estabilización, que se produjo aproximadamente a las 1000hs en todos los casos. La forma de la curva también muestra que el proceso es irreversible e induce cambios de masa significativos debido a procesos de difusión.

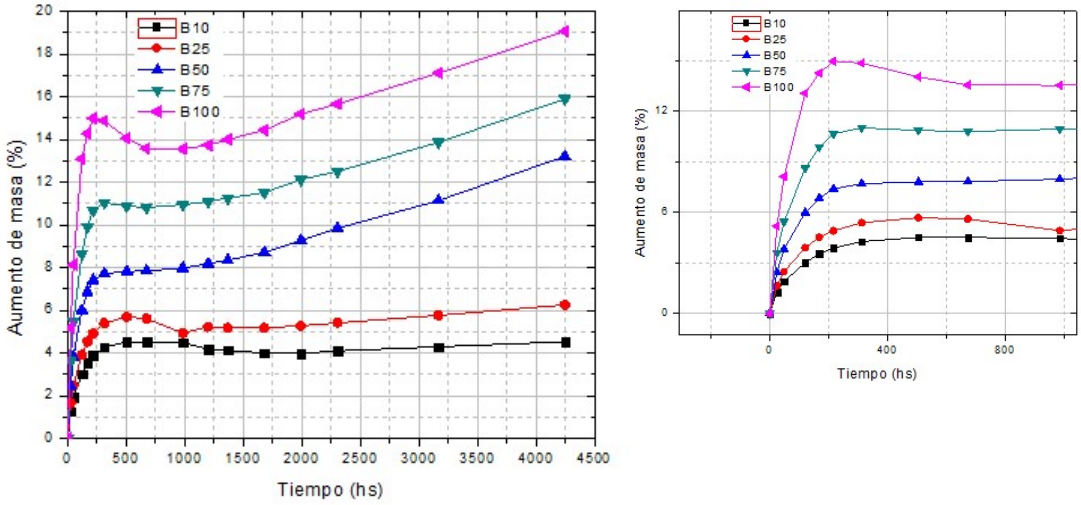


Figura 21: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para mangueras de tela-poliéster

Para la manguera de policloruro de vinilo (PVC) se puede apreciar en todos los casos un aumento de peso que indica una absorción del combustible, seguido por una importante baja en el peso total de las muestras para cortes superiores a B50. Esta baja puede explicarse por una disolución y migración de componentes del polímero tales como plastificantes (que otorgan flexibilidad) y colorantes por parte de los componentes más livianos presentes en el biocombustible. Asimismo se observaron cambios en la coloración de las mangueras ensayadas confirmando la migración de colorantes.

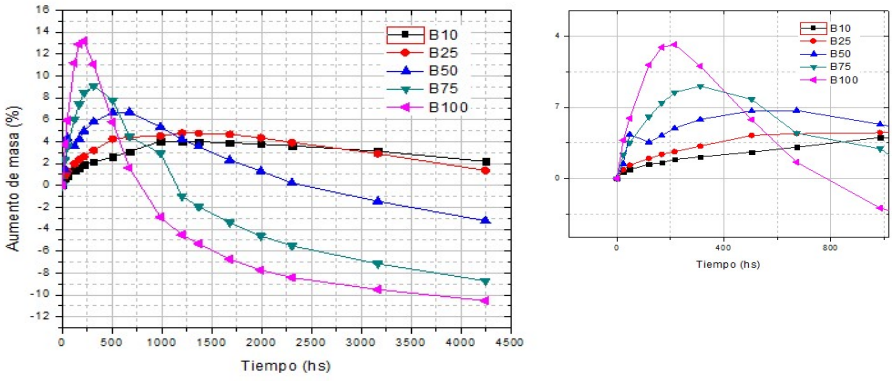


Figura 22: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para mangueras de PVC

O'rings

En la Figura 23, se observa la variación porcentual de peso para el caso de los o'rings. Se ve claramente que los fabricados con el material NBR, para todos los cortes, sufrieron un mayor aumento de peso que los correspondientes de VITON. A su vez, es notorio el hecho de que a medida que aumenta el corte de biodiesel, el material NBR aumenta su peso considerablemente, lo cual no ocurre con el resto de los o'rings. De esto se deduce que no solo es el material más perjudicado por todos los combustibles –diésel y sus cortes-, sino que también el más susceptible a la concentración del biodiesel. Por su parte, los o'rings de FKM, prácticamente no se vieron influenciados por el corte de biocombustible, presentando una variación dentro del rango de su desviación estándar. La compatibilidad de estos materiales en cuanto a absorción de combustible, y biodiesel en particular, es muy superior que la del NBR.

Estos resultados coinciden con lo estudiado por Alves et al. [19]. El incremento en el peso para el caso del NBR, es consecuencia de un mayor grado de absorción de líquido en comparación con la extracción de componentes solubles del elastómero, mientras que lo ocurrido para los o'rings de FKM, se puede atribuir al hecho de que al mismo tiempo que se absorben componentes livianos como el diésel o el biodiesel, también se extraen o diluyen componentes como plastificantes, estabilizadores o aditivos. A esto hay que sumarle el efecto que produce el aumento en el crosslinking (reticulado de las cadenas poliméricas) al generar puntos de unión o restricciones, que limitan el hinchamiento del polímero y de esta manera la cantidad de solvente que puede ser absorbido.

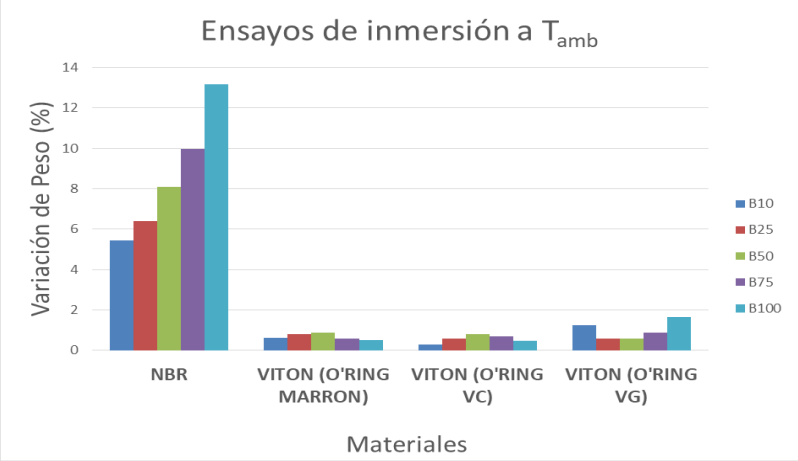


Figura 23: Variación de peso, de o'rings fabricados en distintos materiales

En la Figura 24 y Figura 25, se observan las tendencias de absorción para el caso de los o'rings de vitón color verde.

En el caso de los o'rings verdes de mayor diámetro, se observó la particularidad de que las probetas sumergidas en B100 fueron junto con las sumergidas en B10, las que mayor variación porcentual de peso sufrieron. Luego las siguieron las inmersas en B75, B50 y B25 respectivamente. Se destaca también el hecho de que en las primeras horas de inmersión, las probetas de los cortes B10 y B100 aumentaron considerablemente su peso en relación a las probetas expuestas a los demás cortes. Luego se ve que la absorción se estabiliza en todos los casos hasta aproximadamente las 3200 horas, momento a partir del cual comienzan a aumentar nuevamente. Eso es una indicación de que no se alcanzó el equilibrio a lo largo del período de exposición. Por su parte, para los o'rings verdes de menor diámetro, no se observa una tendencia clara hasta las 3000hs del ensayo. Se registran

oscilaciones en un rango muy acotado de variación porcentual. A partir de esto no se definió tendencia alguna debido a que el peso de cada o'ring está por debajo del orden del gramo y su aumento de masa es muy escaso. Ante esta situación se incrementan los errores de medición (debido al procedimiento de secado y limpieza de cada muestra) para poder establecer con exactitud cuál es el comportamiento de estos o'rings. Recién a partir de las 3000hs. de ensayo, se registró para todos los cortes excepto el B10, una tendencia clara de aumento en porcentaje de peso ganado. El mismo no es significativo, ya que en el mayor de los casos, es de 0.7818%, con respecto a un peso inicial de 0,5595 gr. Al igual que para los o'rings de mayor diámetro, no se alcanzó el equilibrio luego de todo el período de exposición.

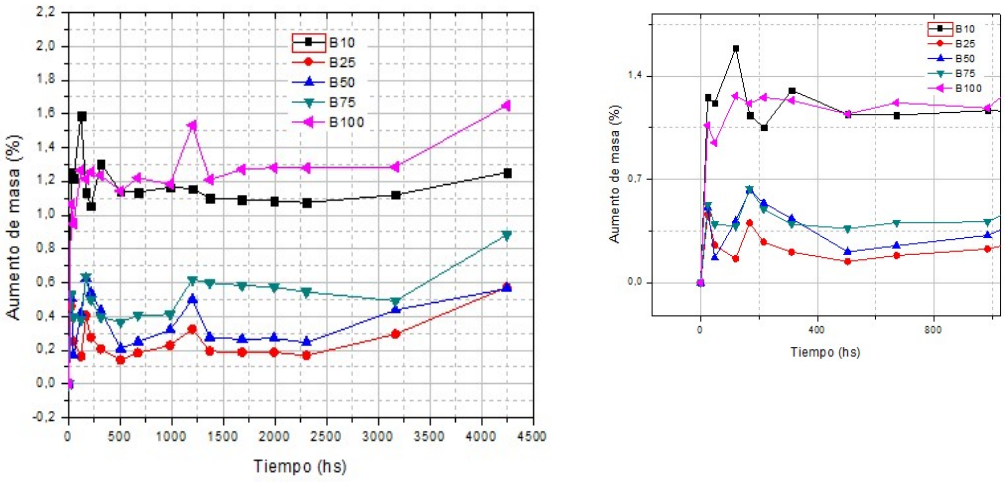


Figura 24: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de vitón (verde grande)

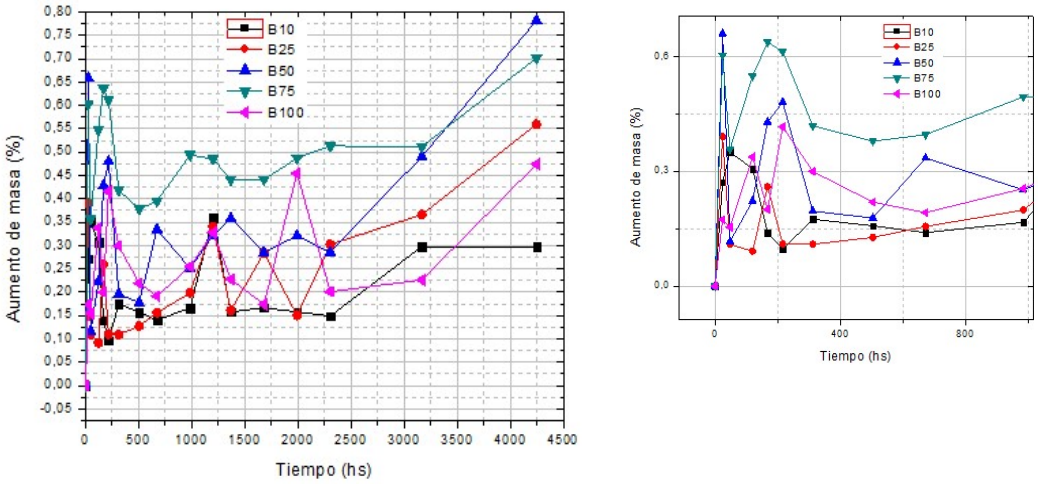


Figura 25: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de vitón (verde chico)

En los o'rings marrones, se observó una leve tendencia general al aumento de peso para todos los cortes de gasoil-biodiesel. Se registran oscilaciones en las mediciones, las cuales se fundamentan de la misma forma que para el caso de los o'rings verdes de menor

diámetro. La variación porcentual de masa para todos los cortes al final del ensayo, se encuentra en un rango comprendido entre 0.3% y 0.8% aproximadamente, lo cual es insignificante, debido a que el peso de referencia inicial de estos o'rings está por debajo de 0,5 gr.

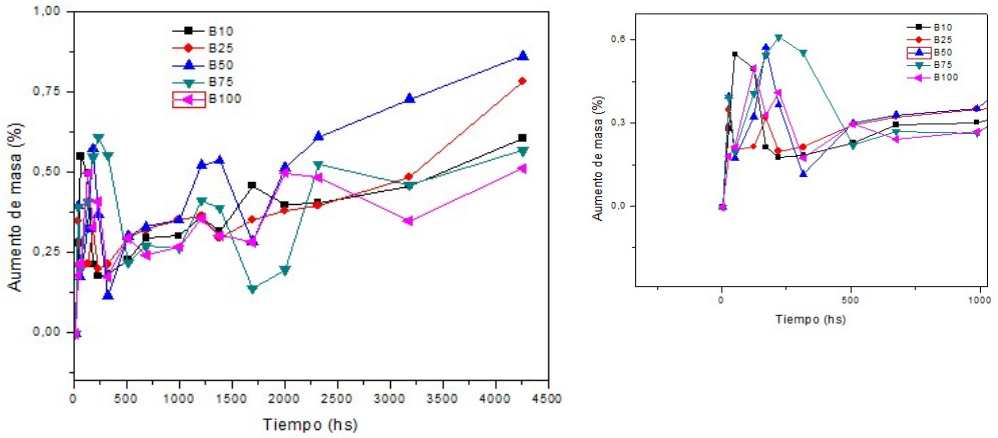


Figura 26: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de vitón (marrón)

Los resultados obtenidos para los ensayos de inmersión del NBR, coinciden con lo expuesto en la bibliografía sobre el tema, en lo que respecta al aumento de peso por parte de este material durante el periodo de exposición. En la Figura 27 se ve claramente la influencia del corte de biodiesel sobre la variación porcentual de peso para los o'rings de NBR. Cuanto mayor es el corte, mayor es la tasa de absorción que presentan las probetas. En todos los casos se observa un aumento de peso en las primeras horas de ensayo, dado por la rápida absorción de combustible por parte del material. A partir de las 200hs aproximadamente, se ve en el gráfico de la derecha que todos los cortes tendieron a estabilizarse, situación que se mantuvo para los casos de B10 y B25 hasta el final del ensayo. Por su parte, las probetas expuestas a concentraciones mayores de biodiesel, no mantuvieron el equilibrio y continuaron aumentando de peso con una pendiente aproximadamente lineal luego de las 2000hs., sin poder establecer una tendencia final.

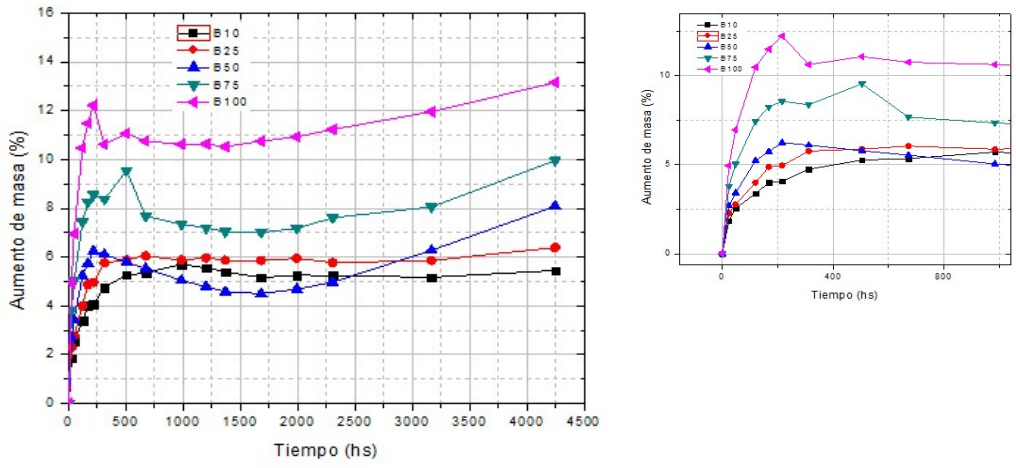


Figura 27: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para o 'rings de NBR

Probetas tanque de combustible

La variación de peso en las probetas confeccionadas en polietileno de alta densidad (HDPE), se muestra en la Figura 28. Se observa que este material experimentó una ganancia de peso para todos los cortes. Al finalizar el ensayo, las muestras que se vieron más afectadas fueron las sumergidas en los combustibles con menor concentración de biodiesel, esto es, los cortes B10 y B25 respectivamente. Se aprecia en el gráfico que a medida que el corte de biocombustible aumentó, se presentó una clara tendencia a la disminución en el peso ganado. Esto indica que el HDPE es más susceptible a los combustibles tradicionales.

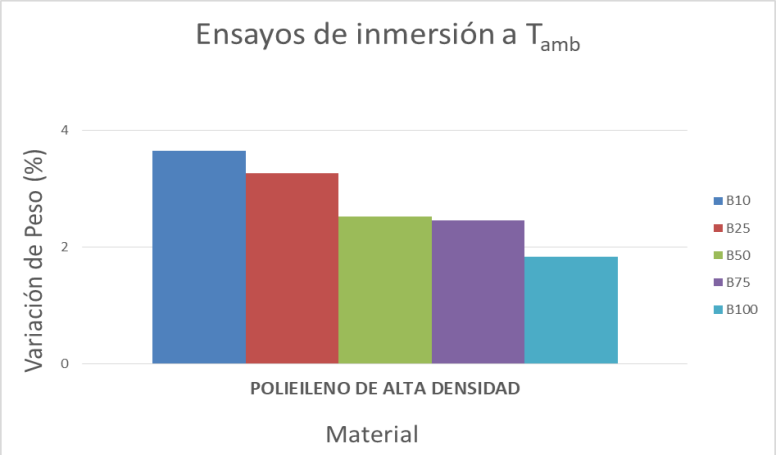


Figura 28: Variación de peso, de probetas fabricadas a partir de HDPE

La tendencia de absorción de este material se observa en la Figura 29 donde se ve claramente que las probetas expuestas a los combustibles con menores concentraciones de biodiesel fueron en todo momento las que mayor aumento de peso registraron. La mayor tasa de absorción de combustible se dio en todos los cortes, durante las primeras 300 horas de ensayo. Para los cortes B25 y superiores no se pudo alcanzar la estabilización durante todo el período, a pesar de presentar una tasa de absorción que disminuyó con el tiempo. Esto se da en contraposición a lo estudiado por M. M. Maru et al. [53] quienes observaron que luego de 75 días de inmersión en biodiesel de soja al 100%, la tasa de peso ganado se mantuvo estable. Por otro lado, como similitud con este estudio, se aprecia el hecho de que las probetas que mayor variación de peso registraron fueron las sometidas al combustible con menor concentración de biodiesel. En el caso de las probetas expuestas al corte B10, si bien parece haberse alcanzado la estabilización, la misma se produjo luego de 3000 horas de ensayo. Dado que la difusión es un proceso activado térmicamente, tanto la cantidad correspondiente al punto de saturación del fluido absorbido como el tiempo necesario para alcanzar ese valor de saturación varía con la temperatura de inmersión, y junto con ésta, también el volumen libre donde el fluido puede alojarse [54].

Al final del ensayo, para el corte B10, el aumento se situó cercano al 3,65%. Luego le siguieron las probetas sumergidas en B25, B50, B75 y B100 con 3,27%, 2,52%, 2,46% y 1,84% respectivamente.

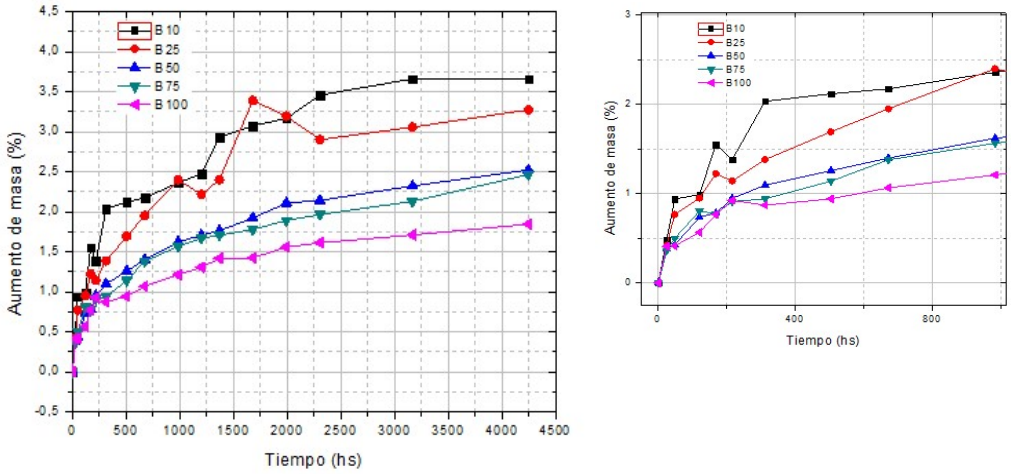


Figura 29: Absorción de biodiesel en función del tiempo, para probetas de HDPE

4.2.1.3 Discusión

Lo observado en todos los ensayos de inmersión sugiere un fenómeno de absorción de fluido que puede ser interpretado como swelling o hinchazón, lo cual es comúnmente reportado en polímeros y especialmente en elastómeros, dado que estos últimos son vulnerables a ataques de diversas sustancias químicas, lo que genera en menor o mayor medida, degradación de sus propiedades físicas y estabilidad. Además, bajo las mismas circunstancias de exposición, el grado de absorción de un solvente, así como también el de extracción de componentes solubles por parte de diferentes materiales, va a ser distinto para cada uno de ellos [72], tal cual se observa en los resultados expuestos.

Los polímeros son básicamente una mezcla compleja de sustancias polares y no polares que incluyen rellenos, aceite, plastificantes, estabilizantes, agentes de curado, antioxidantes, y compuestos que mejoran su procesamiento. La resistencia química de un polímero a un fluido en particular está relacionada a la interacción que se dé entre ambos, y esta interacción es dependiente tanto de la estructura del polímero como de la naturaleza del fluido. Dicha resistencia puede variar desde muy buena, donde hay poca o ninguna interacción entre ambos, a pobre, donde el fluido disuelve o degrada completamente al polímero. Hinchazón, microcracking y plastificación son problemas comunes relacionados al envejecimiento de estos materiales expuestos a distintos solventes [42].

Cuando los polímeros son sumergidos en un combustible, su matriz puede presentar una tendencia a la hinchazón, que en líneas generales puede ser atribuida a dos factores relacionados entre sí: uno es el grado de absorción y penetración del solvente, función de las polaridades de las moléculas de ambos, y dos, la relajación de las cadenas poliméricas y las interacciones entre ellas. La difusión de las moléculas de solvente, dependerá principalmente del volumen libre dado por la flexibilidad de las cadenas, y la relación de la cadena principal con los grupos asociados a ésta [46]. Estos factores influyen en el impacto que genera el solvente sobre los distintos compuestos que constituyen al polímero, y consecuentemente en las propiedades finales del mismo [73]. La regla general que describe el hecho de que sustancias polares son más propensas a disolverse en solventes polares, y que las sustancias no polares son más propensas a disolverse en solventes no polares, se conoce como solubilidad selectiva o ‘’like dissolves like’’. Para el disolvente polar, los extremos positivos de las moléculas atraerán los extremos negativos de las moléculas de soluto creando así una fuerza intermolecular conocida como interacción dipolo-dipolo. Estas

fuerzas de atracción entre sustancias polares, son mayores que las interacciones dipolo-dipolo inducido que se generan entre una sustancia polar y una no polar. Por lo tanto, el fenómeno de ‘’swelling’’ en materiales altamente polares es considerablemente mayor [5]. En el caso del biodiesel, el grado de interacción dipolo-dipolo con un soluto polar es mayor en comparación con el del diésel, y esto se deriva de la mayor polaridad generada por los ésteres presentes en el biocombustible. A esto debe sumarse el hecho de que el biodiesel es susceptible a oxidarse tanto por exposición al aire, por las condiciones de almacenamiento, así como también por la cantidad de insaturación de sus ácidos grasos, aumentando considerablemente su polaridad. Al oxidarse, se producen hidroperóxidos en los puntos insaturados de los ácidos grasos, los cuales se descomponen posteriormente en otros compuestos tales como ácidos carboxílicos de cadena más corta. Los ésteres, que son los compuestos principales del biodiesel, también pueden hidrolizarse en presencia de agua para formar ácidos carboxílicos. Todos estos productos, incluida la composición química del biodiesel, afectan la característica de hinchamiento del polímero [52] [74]. Generalmente la influencia de los fluidos a base de ésteres es más significativa en el deterioro de polímeros que la de los aceites minerales. A su vez, si las interacciones solvente-polímero son dominantes sobre las interacciones polímero-polímero, máxima absorción se puede obtener [75]. Como se mencionó al principio de este párrafo, el volumen libre en el material juega un papel primordial sobre la absorción y penetración de un solvente. La tasa de disolución puede ser representada por la velocidad de penetración del solvente en el material, velocidad que disminuye tanto más cuanto mayor es la longitud de las cadenas, debido a que aumenta el entrecruzamiento de las mismas, generando puntos de restricción que limitan la cantidad de solvente absorbido. En otras palabras, resulta en una distribución de poros de menor tamaño, que indica la densificación de la red por el fenómeno de entrecruzamiento [46].

Se puede observar que para el caso de la tela de poliéster, la misma presenta una clara tendencia a aumentar de peso a medida que aumenta la concentración de biodiesel en el corte de combustible. Además, en los mayores cortes (B50, B75 y B100) nunca se alcanzó la estabilización en la absorción a lo largo de todo el ensayo. Esto deja en claro que el comportamiento de este material frente al biodiesel no es satisfactorio. Parece ser que el grado de interacción dipolo-dipolo entre la tela de poliéster y el biodiesel, es bastante mayor que con el diésel, dado el incremento de peso tan marcado que se aprecia hacia los cortes más altos. Esto indica que este material presenta mejor compatibilidad con los combustibles derivados del petróleo. Por otro lado, de los tres materiales que se utilizaron en la fabricación de las mangueras, es el que presenta los mayores valores de absorción en todos los cortes. El politetrafluoroetileno (PTFE), por su parte, es un material dieléctrico con excelentes propiedades aislantes, al cual generalmente se le agrega una cierta cantidad de partículas minerales con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas. Las propiedades dieléctricas de este material, dependen de la cantidad de partículas de relleno que se utilicen, así como también del tamaño y distribución dentro de la matriz polimérica [76]. Al ser el PTFE un polímero no polar, no se generan entre éste y el combustible interacciones lo suficientemente fuertes como para que se produzca una absorción considerable de solvente por parte del soluto. Esto es lo que se observa en la Figura 19. Por otro lado, la tendencia de absorción de este material parece indicar que con el transcurso del tiempo, fueron disolviéndose o migrando compuestos que son agregados al polímero para otorgarle propiedades como las mencionadas anteriormente. La compatibilidad de este material resulta ser muy buena al interactuar con combustible diésel, y con los cortes de biodiesel en general. El PVC presentó un comportamiento distinto a los materiales anteriormente mencionados. Si bien coincide con la tela de poliéster respecto a que presenta mejor compatibilidad con el combustible diésel, se diferencia notablemente en el hecho de que a medida que aumenta el corte de biodiesel, el material sufre una marcada pérdida de peso hasta el punto de llegar a perder masa respecto de la probeta base, haciéndose esta pérdida tanto más grande cuanto mayor es el corte. Las propiedades del PVC se ven influenciadas por la inclusión de aditivos tales como plastificantes, estabilizantes, pigmentos disolventes, odorantes, espumantes y retardantes de llama entre

otros, además de la variedad de posibilidades para su procesado. La reducción en masa del material puede atribuirse a la absorción de elementos livianos como el diésel o biodiesel, y al mismo tiempo la disolución en mayor medida de componentes solubles como los aditivos mencionados. En la tendencia de absorción, Figura 22, se ve claramente que los cortes más altos nunca alcanzaron la estabilización por lo cual se induce que la pérdida de masa hubiera sido mayor con el transcurso del tiempo. De los tres materiales utilizados en la fabricación de las mangueras, el PVC fue el que presentó las propiedades más pobres al contacto con biodiesel en cuanto a comportamiento de ‘’swelling’’ o hinchazón, obteniéndose el siguiente orden: PTFE > Tela de poliéster > PVC, siendo el politetrafluoroetileno el material con mejor comportamiento frente a exposición no solo al biocombustible, sino a los combustibles en general.

Acorde a la Figura 23, en comparación con el combustible diésel, el biodiesel resulta en un incremento de masa mucho mayor en las muestras de NBR. Este material es un copolímero de caucho sintético de acrilonitrilo y butadieno, el cual es una sustancia polar. Entonces, cuando el NBR es sumergido en un solvente como el biodiesel, la parte polar de este biocombustible presente en los ésteres, reacciona con la parte polar del NBR a través de interacciones dipolo-dipolo, causando la hinchazón del material [5]. Estas interacciones, como se puede apreciar, son mayores en el caso del biodiesel que en el diésel, por eso el incremento de peso hacia los cortes más altos. Los elastómeros parecen hincharse y/o degradarse en el biodiesel a través de reacciones con la red troncal del polímero y el sistema de reticulación, o mediante reacciones con el sistema de relleno. El incremento de masa en los polímeros, está relacionado también a la relajación de las cadenas poliméricas. En el NBR por ejemplo, cuanto mayor es el contenido de acrilonitrilo -agente de reticulación- menor es el fenómeno de swelling, dado que se asegura un incremento de reticulado en las cadenas del polímero [77]. Los agentes reticulantes en elastómeros son principalmente a base de peróxidos. Durante el proceso de reticulado, los peróxidos típicamente reaccionan con las cadenas de los elastómeros eliminando átomos de hidrógeno de la cadena principal de carbono. Por lo tanto, crea radicales altamente activos en la cadena que se unen a sitios similares en otra cadena. Esto forma un reticulado de carbono a carbono. Tras la exposición de diferentes elastómeros en el biodiesel, el agente de reticulación puede reaccionar con diferentes componentes del biodiesel y deteriorar así las propiedades físicas y mecánicas del material. Además, el elastómero expuesto al biodiesel puede perder su reticulación si se forma peróxido de hidrógeno al abstraer el hidrógeno de los componentes del biodiesel, provocándose de esta forma la relajación de las cadenas [71]. Como consecuencia, se obtienen poros de mayor tamaño, lo que genera un mayor volumen disponible para la absorción y penetración del solvente. Por su parte, los o’rings elaborados a partir de Viton no exhibieron grandes modificaciones en su peso luego del ensayo de inmersión. El acuerdo general es que los materiales fluorados apenas se ven afectados por el biodiesel en ensayos de envejecimiento [52], lo cual se pudo observar también en las mangueras de PTFE. Típicamente los fluoroelastómeros se diferencian por su composición monomérica -y por ende el contenido de flúor- y el sistema de curado empleado. Esto puede ser un justificativo para las pequeñas diferencias encontradas en el comportamiento de absorción entre los o’rings de color verde, y entre éstos y los marrones, Figura 23. Sin embargo, en líneas generales, se puede ver que los o’rings de Viton –tanto los verdes como los marrones- tienen buena compatibilidad en términos de absorción, ya sea con diésel o con biodiesel, dado que los cambios de peso se mantuvieron prácticamente constantes para todos los combustibles.

Al igual que para los casos mencionados anteriormente, el ensayo de inmersión del HDPE sugiere un fenómeno de absorción de combustible. Teniendo en cuenta el principio de solubilidad selectiva, lo observado en la Figura 28 es coherente. Puede verse que el polímero, material no polar, experimentó un aumento de peso para todos los cortes, dándose el mayor aumento para el combustible diésel. Éste, presenta una alta tasa de difusión en el HDPE, lo cual es lógico dado que la estructura química de ambos materiales (HDPE y el diésel) es similar [70]. Vale la pena notar que durante el proceso de absorción los cortes B25 y superiores, nunca alcanzaron la estabilización, y tampoco se presentó un

pico máximo en ninguno de los casos a partir del cual el peso comenzó a descender. De esto se induce que el material no sufrió disolución o migración de unidades de alto peso molecular, y por ende, no hubo pérdida de masa. Claramente se observa que el polietileno de alta densidad, presenta mejor compatibilidad con los combustibles derivados de los aceites vegetales.

4.2.2 Ensayos de tracción: comportamiento mecánico.

4.2.2.1 Resumen de resultados

Los cambios en las propiedades mecánicas en los o'rings, mangueras, y en las probetas tipo hueso correspondientes al tanque de combustible, se evaluaron a través de ensayos de tracción, de los cuales se obtuvieron datos de carga y alargamiento para todas las muestras. Con estos valores, se calculó para todas ellas, la tensión y deformación, y de esta forma se obtuvieron sus correspondientes tensiones máximas $\sigma_{máx,}$ y deformación a la rotura ε_{rot}. Luego se graficó en un juego de ejes x-y, el diagrama de tensión-deformación específica (o unitaria), del cual se determinó gráficamente la pendiente de la curva y consecuentemente el Módulo de Young de cada probeta. Todos los valores obtenidos durante el ensayo se detallan en el Anexo B: Resultados ensayos de tracción.

En el Cuadro 20 se resumen los valores obtenidos de las propiedades mecánicas al final del ensayo de tracción. El valor indicado para cada corte, corresponde al promedio de los valores obtenidos en las probetas sumergidas en el mismo. A modo de comparación, en las figuras 30, 31, 32 y 33, se grafican la carga y tensión máxima, deformación a la rotura y Módulo de Young respectivamente, para cada uno de los materiales ensayados.

Tipo de Material	Corte biodiesel	Carga máxima (N)	Desv. Std.	Tensión máxima (Mpa)	Desv. Std.	Def. a la rotura (%)	Desv. Std.	Módulo de Young (Mpa)	Desv. Std.
Mangueras									
Tela de poliéster	Aire	589,96	11,81	8,15	0,16	473,28	0,18	1,93	0,07
	B10	586,82	40,34	8,11	0,56	449,22	0,43	2,18	0,12
	B25	580,55	7,22	8,02	0,1	388,44	0,08	2,51	0,06
	B50	492,31	25,22	6,79	0,36	291,56	0,19	2,56	0,12
	B75	400,70	47,1	5,54	0,65	288,13	0,37	2,45	0,16
	B100	198,79	24,72	2,75	0,34	265	0,37	1,38	0,08
PVC	Aire	1001,65	40,49	23,8	0,96	486,41	0,48	16,18	0,82
	B10	865,03	32,26	20,55	0,77	295,16	0,27	20,24	0,31
	B25	920,22	53,11	21,86	1,26	344,53	,0,47	19,7	0,5
	B50	964,06	14,82	22,9	0,35	355,16	0,09	17,17	0,44
	B75	995,07	32,74	23,24	0,78	329,38	0,23	16,92	0,63
	B100	1000,41	26,10	23,79	0,62	310,47	0,16	12,97	0,32
O'rings									
NBR	Aire	179,89	17,99	28,63	2,86	261,67	0,12	12.72	1.58
	B10	159,82	20,71	25,44	3,29	237,78	0,29	12.41	1.55
	B25	164,35	2,14	26,16	0,34	257,22	0,24	12.06	1.06
	B50	150,07	10,45	23,89	1,66	279,44	0,19	11.17	0.26
	B75	135,28	19,14	21,53	3,05	245,33	0,27	11.57	0.34
	B100	119,28	20,26	18,98	3,22	205,56	0,19	11.67	0.80
Vitón marrón	Aire	57,37	1,34	9,13	0,21	186,46	0,12	7,79	0,19
	B10	44,03	1,62	6,85	0,46	242,71	0,16	4,64	0,19
	B25	45,30	1,99	7,21	0,32	203,13	0,58	5,52	1,22
	B50	44,03	2,06	7,01	0,33	243,75	0,21	4,53	0,24
	B75	50,03	5,93	8,09	0,94	195,83	0,31	6,69	1,38
	B100	47,11	4,41	7,49	0,70	163,54	0,24	7,19	0,96
Vitón verde (diámetro chico)	Aire	70,47	0,98	11,24	0,19	270,84	0,12	5,57	0,17
	B10	34,10	8,22	5,42	1,31	218,75	0,85	6,18	0,16
	B25	48,14	25,05	7,66	3,99	214,59	0,50	4,99	0,06
	B50	50,69	24,98	8,07	3,98	231,25	0,38	5,22	0,08
	B75	43,29	15,59	6,89	2,48	200,00	0,06	4,95	0,26

Tipo de Material	Corte biodiesel	Carga máxima (N)	Desv. Std.	Tensión máxima (Mpa)	Desv. Std.	Def. a la rotura (%)	Desv. Std.	Módulo de Young (Mpa)	Desv. Std.
	B100	49,24	18,06	7,84	2,87	252,08	0,27	4,82	0,43
Vitón verde (diámetro grande)	Aire	63,85	0,90	10,16	0,14	256,95	0,06	10,39	0,46
	B10	53,76	5,26	8,56	0,83	270,84	0,14	7,41	0,14
	B25	47,99	2,48	7,64	0,39	247,23	0,12	8,05	0,16
	B50	47,62	7,04	7,58	1,12	265,28	0,46	7,50	0,27
	B75	61,45	5,79	9,78	0,92	241,67	0,39	9,99	0,45
	B100	54,92	6,22	8,74	0,99	209,73	0,26	9,52	0,41
Probetas tanque combustible									
HDPE	Aire	463,37	0	23,17	0	50	0	687,45	36,37
	B10	522,62	48,73	24,31	2,11	38,89	0,17	662,51	2,42
	B25	602,85	60,54	24,45	2,31	44,44	0,15	644,44	4,5
	B50	537,36	61,21	25,69	1,52	45,83	0,18	674,92	4,04
	B75	574,19	64,51	22,43	1,60	63,43	0,46	596,44	4,24
	B100	618,80	76,89	26,03	6,90	40,74	0,13	618,24	28,58

Cuadro 20: Resumen de resultados de propiedades mecánicas, luego de ensayos de tracción

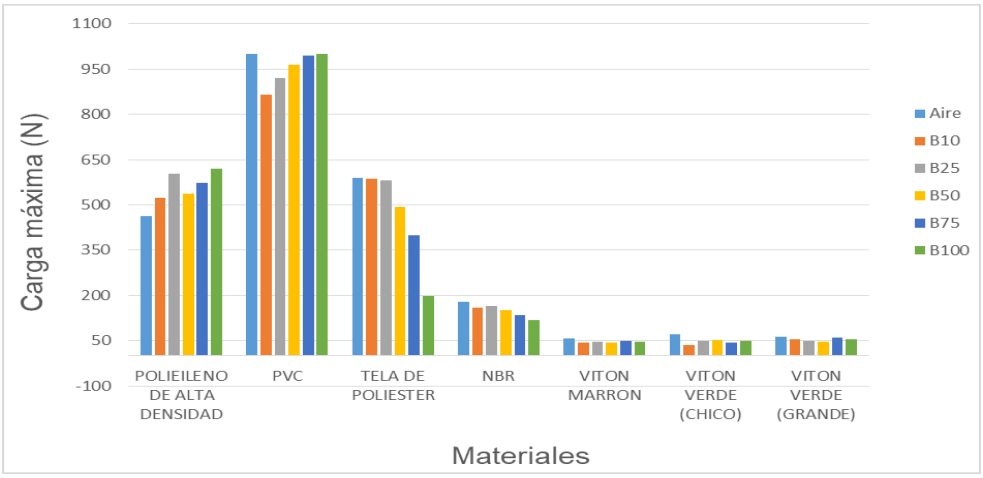


Figura 30: Carga máxima en función del corte de biodiesel, para distintos materiales

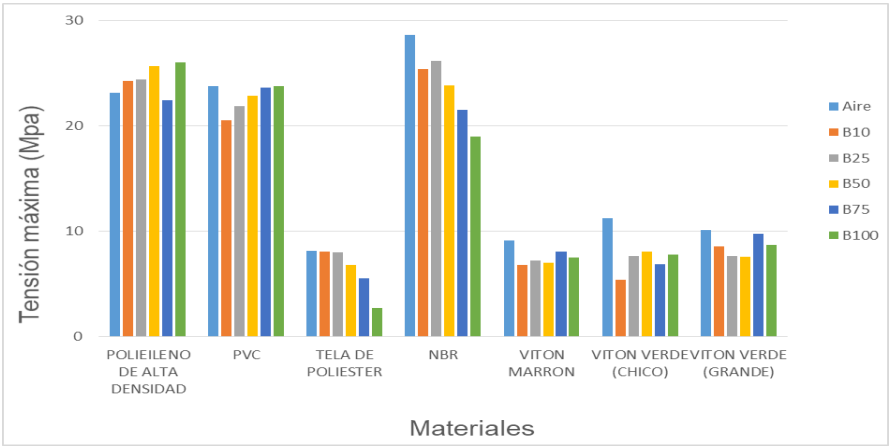


Figura 31: Tensión máxima en función del corte de biodiesel, para distintos materiales

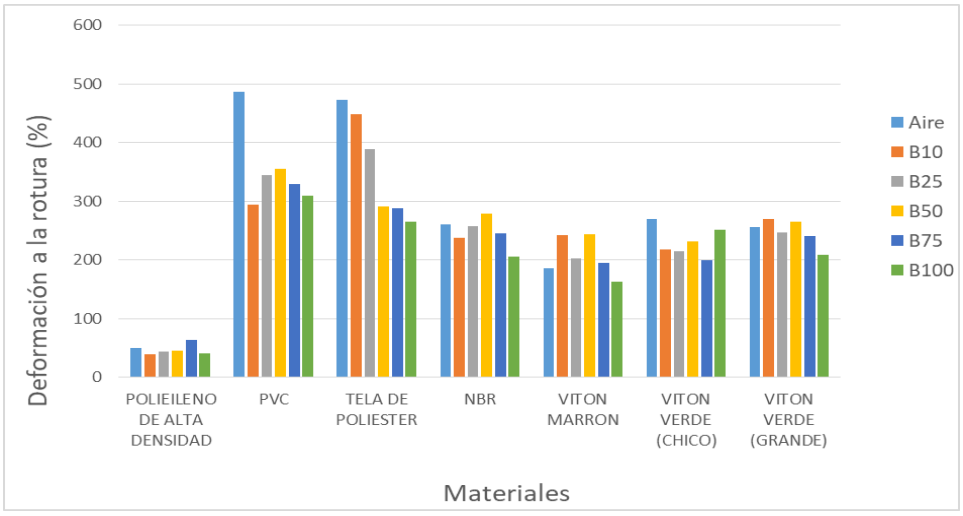


Figura 32: Deformación a la rotura en función del corte de biodiesel, para distintos materiales

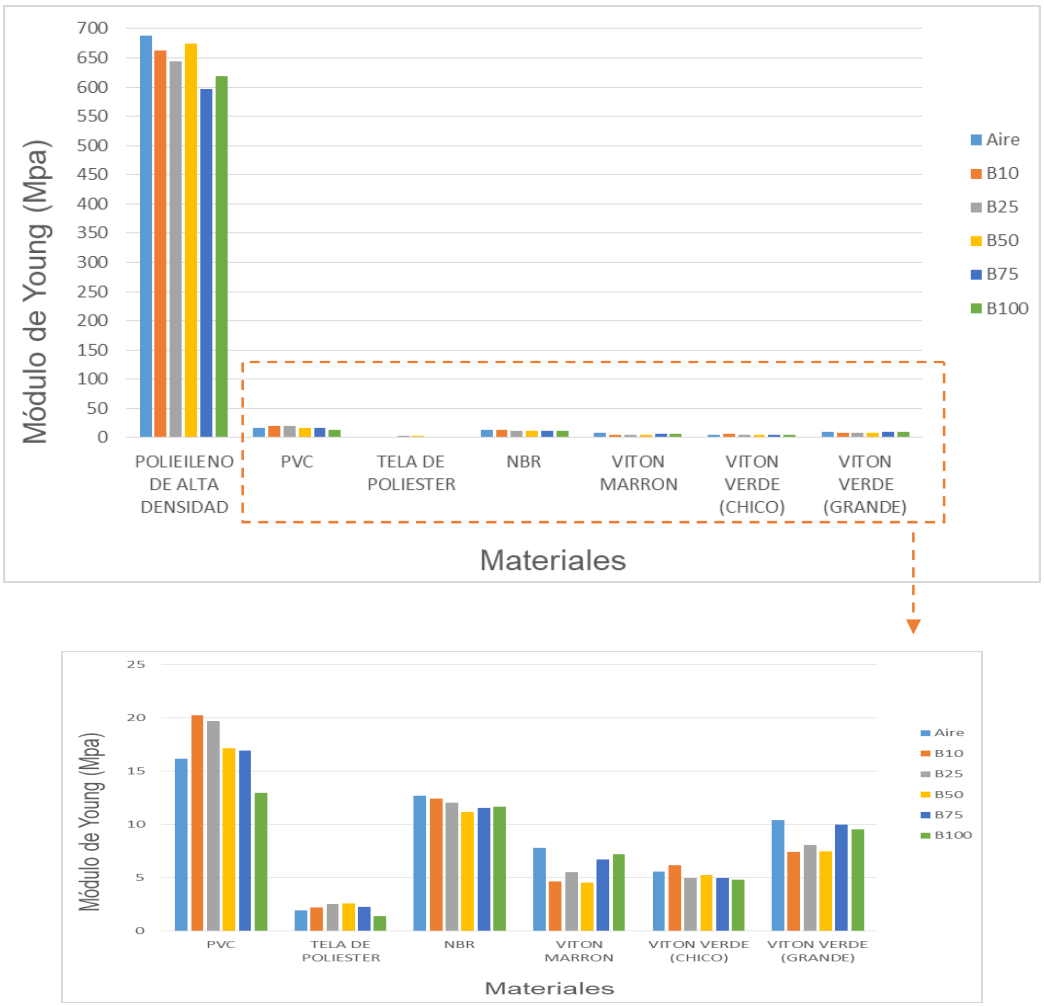


Figura 33: Módulo de Young en función del corte de biodiesel, para distintos materiales

4.2.2.2 Propiedades mecánicas

Mangueras

En la Figura 34 se pueden apreciar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de las mangueras de tela-poliéster. Las dos primeras barras (roja y azul) corresponden a los valores de las probetas no expuestas a ningún combustible antes del ensayo, (s/exp). Es posible observar una importante disminución de las propiedades mecánicas hacia los cortes superiores, haciéndose más notorio este efecto en concentraciones mayores a B50, coincidentemente con la mayor absorción observada para dichos cortes. La carga máxima para el corte con mayor concentración de biodiesel resultó aproximadamente un 66% menor que para las probetas expuestas al diésel y al corte B10 (éstas obtuvieron valores cercanos a las probetas sin exposición). Cabe destacar que en los tres cortes superiores no se alcanzó el equilibrio después de 4000hs de exposición, presentando una tasa de absorción creciente, por lo que es de suponer que las propiedades mecánicas se verían disminuidas aún más con el paso del tiempo. En cuanto a la elongación máxima, se puede ver una tendencia similar, disminuyendo esta propiedad hacia los cortes más altos. Las mangueras expuestas a B50, B75 y B100, tienden a estabilizarse en valores cercanos al 300% de deformación, siendo los mismos notoriamente inferiores respecto de los cortes con menor proporción de biodiesel, y aproximadamente un 44% inferior respecto de las probetas sin exposición. En resumen, se observa una marcada disminución en la carga máxima así como en la deformación a la rotura para el corte B50 y superiores.

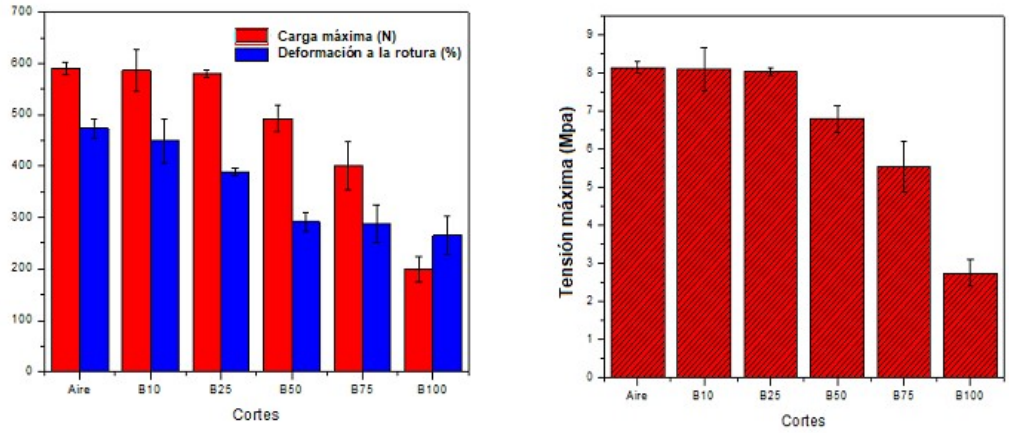


Figura 34: Propiedades mecánicas manguera de tela-poliéster

En los gráficos de la Figura 35 se muestran las curvas σ-ε, y se indica en cada uno de ellos la zona considerada para la estimación de la rigidez del material. Puede verse claramente una región de transición que delimita las zonas indicadas como I y II. En algunos casos esta transición está dada simplemente por un cambio brusco de pendiente mientras en otros es más gradual. El rango de deformaciones considerado para la estimación del Módulo de Young estuvo comprendido entre el 0 y 100% de deformación, región indicada como I, la cual es representativa del comportamiento elástico del material.

En general se observa que el material aumenta mínimamente su rigidez respecto de las muestras crudas, luego de ser expuesto a los distintos cortes de biodiesel. Los resultados obtenidos para el Módulo de Young indican que hasta el corte B50 inclusive, el material tendió a rigidizarse leve pero progresivamente. A partir de este punto comenzó una tendencia descendente en su valor hasta terminar por debajo del correspondiente a la probeta que no fue expuesta a ningún combustible. Respecto de las muestras expuestas al diésel, el aumento registrado para las probetas del corte B50, estuvo en torno al 17%.

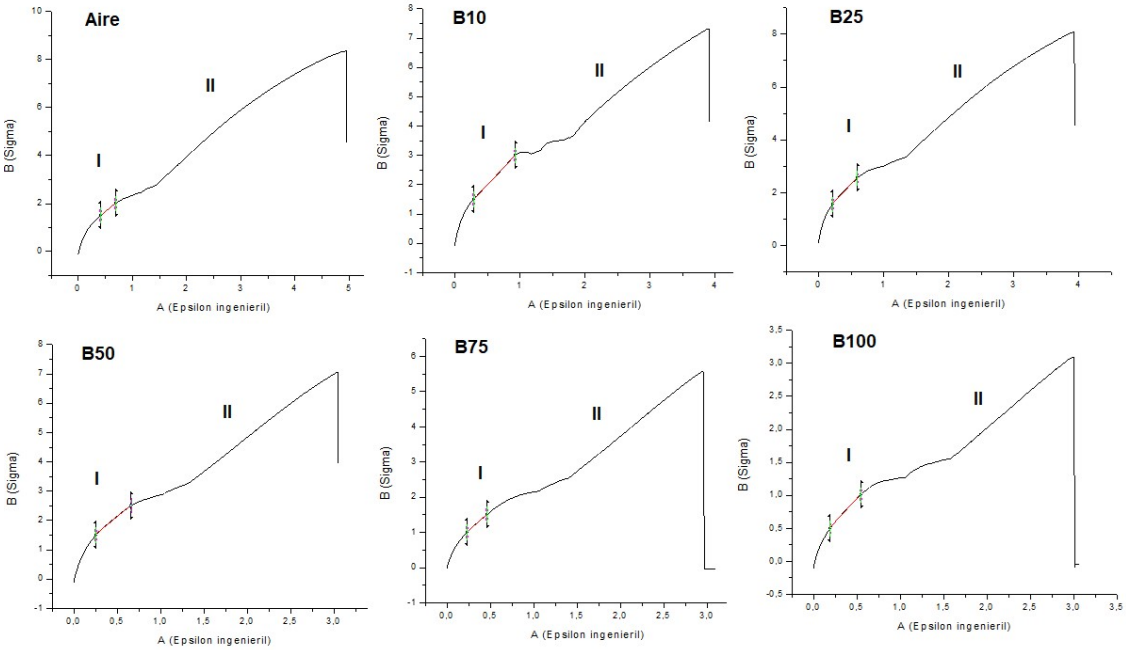


Figura 35: Curvas σ-ε para probetas de Tela de Poliéster

En la Figura 36 se pueden apreciar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de la manguera de PVC. Es posible observar que las cargas máximas se mantienen, no registrándose pérdida importante en la resistencia. Por su parte, el comportamiento en deformación, varía prácticamente muy poco si se comparan las mangueras expuestas a los distintos cortes de biodiesel (B10 a B100). Sí se observa una disminución en la elongación hasta la rotura del material, que oscila entre el 27% y el 39% respecto de aquellas muestras que no fueron sumergidas en el combustible. Esto hace suponer que el combustible, independientemente del corte, genera un incremento en la rigidez de las mangueras de PVC dado que las tensiones registradas se mantuvieron prácticamente constante. Sin embargo, el hecho importante es que no se aprecia una variación sustancial de esta propiedad entre las probetas expuestas al diésel y las expuestas al biodiesel puro. En resumen, para este caso no se observan diferencias significativas en el comportamiento mecánico del material al ser expuesto a B10 o a B100. Lo llamativo es que si se analizan las tendencias de absorción, se ve claramente como el material va perdiendo peso en los cortes superiores, como consecuencia de la migración de componentes más livianos. A pesar de esto, las propiedades mecánicas se mantuvieron.

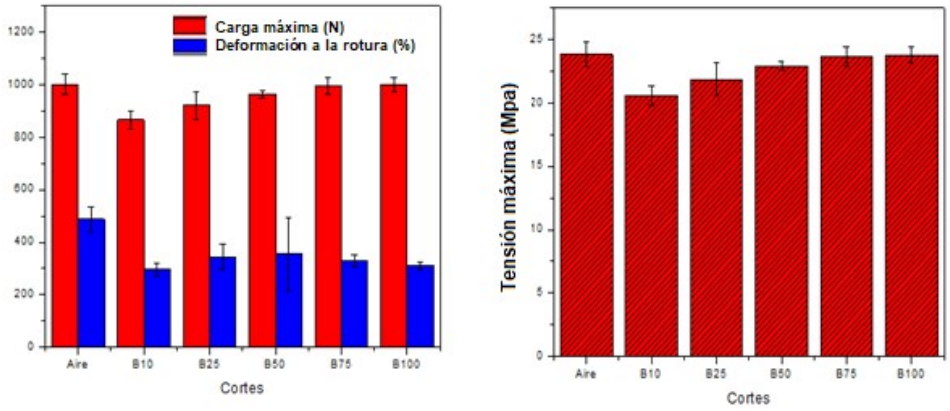


Figura 36: Propiedades mecánicas manguera de PVC

En la Figura 37 se muestran a modo comparativo las curvas de tensión-deformación de las probetas ‘’crudas’’ y las que fueron expuestas a los distintos combustibles. El Módulo de Young se estimó dentro del rango 0-50% de deformación, región en la cual la pendiente de la curva σ-ε disminuyó leve pero progresivamente por encima del valor de la probeta sin exposición, desde el corte B10 al B100 inclusive. Esto indica que el material se rigidizó al ser expuesto a los distintos cortes de biodiesel. Es interesante notar que en los primeros cuatro casos (Aire, B10, B25 y B50) se observa una sola región indicada como I hasta el 50% de deformación, mientras que en los últimos dos cortes (B75 y B100) se aprecia un cambio de pendiente dentro de este rango, generando claramente dos regiones, la indicada como I, entre 0 y 25% de deformación, y la II, comprendida entre el 25 y el 50%. Vale aclarar que para estos dos cortes, B75 y B100, la zona considerada para la estimación del Módulo de Young fue la II.

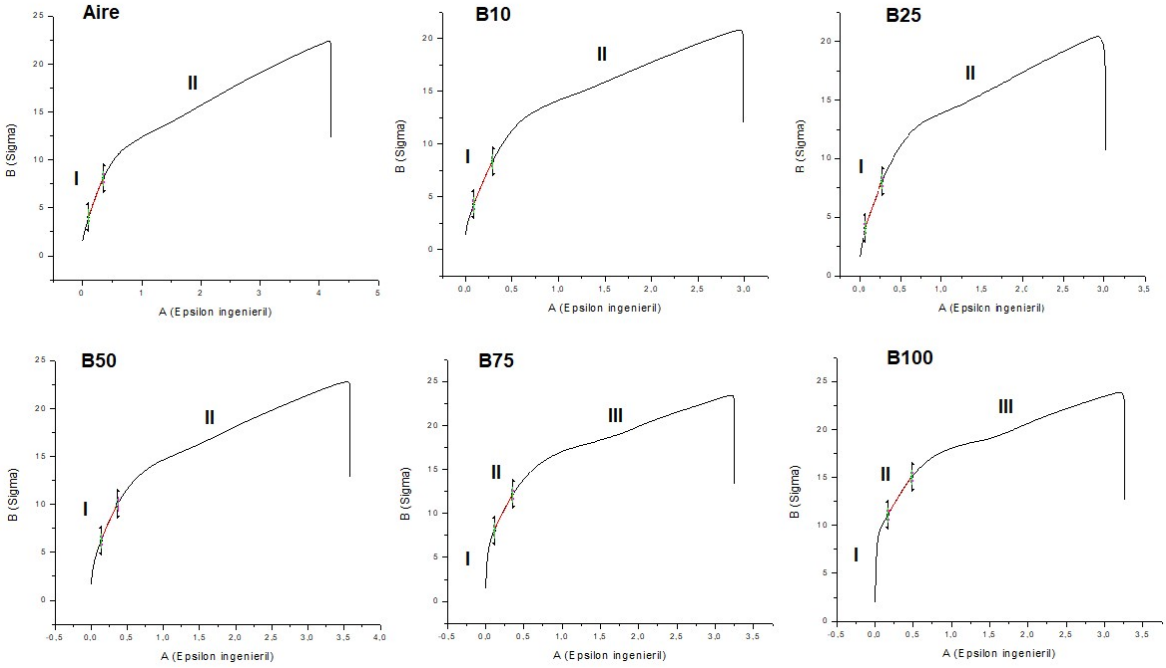


Figura 37: Curvas σ-ε para probetas de PVC

O'rings

Los resultados obtenidos para los todos o'rings considerados en este trabajo coinciden con lo expuesto en la bibliografía sobre el tema, basados en datos experimentales y la experiencia de campo [51] [52]. En el presente estudio, la disminución en la resistencia a la tracción para el caso del NBR es considerablemente mayor en proporción que para los o'rings de Viton, mientras que para la deformación a la rotura no se observaron grandes variaciones desde el corte B0 al B100 en ninguno de los materiales. El acuerdo general es que los elastómeros fluorados difícilmente sean afectados por el biodiesel, mientras que elastómeros comunes como el NBR, no son adecuados para su uso con el mismo.

Los ensayos mecánicos en las empaquetaduras (o' ring) de NBR pueden apreciarse en la Figura 38, donde se ve claramente que las muestras que sufrieron mayor degradación fueron aquellas expuestas al corte más alto de biodiesel. Se observa que la tensión máxima disminuye leve pero progresivamente respecto de las muestras que no fueron expuestas al combustible, a medida que aumenta el corte de biodiesel. El resultado final indica una disminución del 30% en la resistencia a la tracción para las probetas expuestas al corte B100, respecto de las muestras vírgenes, y del 25% respecto a las expuestas al diésel. Por su parte, los valores de deformación a la rotura presentaron una tendencia ascendente a medida que aumentaba la concentración de biodiesel desde el corte B10 al B50, obteniéndose para este último el mayor valor de alargamiento en toda la serie. Para concentraciones mayores, la deformación disminuyó, incluso a valores inferiores al de las probetas que fueron expuestas al combustible diésel. Los resultados obtenidos coinciden con la bibliografía consultada [5] [19] [40] [73] [78], a pesar de que en algunos casos difirió la materia prima del biodiesel respecto a la utilizada para el presente trabajo. En conclusión, se ve que los cortes superiores a B50 provocaron un deterioro en las propiedades mecánicas respecto de aquellas probetas expuestas al combustible diésel. Esto es lógico si se tienen en cuenta las tendencias de absorción registradas en los ensayos de inmersión, dado que los tres cortes superiores nunca alcanzaron la estabilización a lo largo de todo el período de exposición.

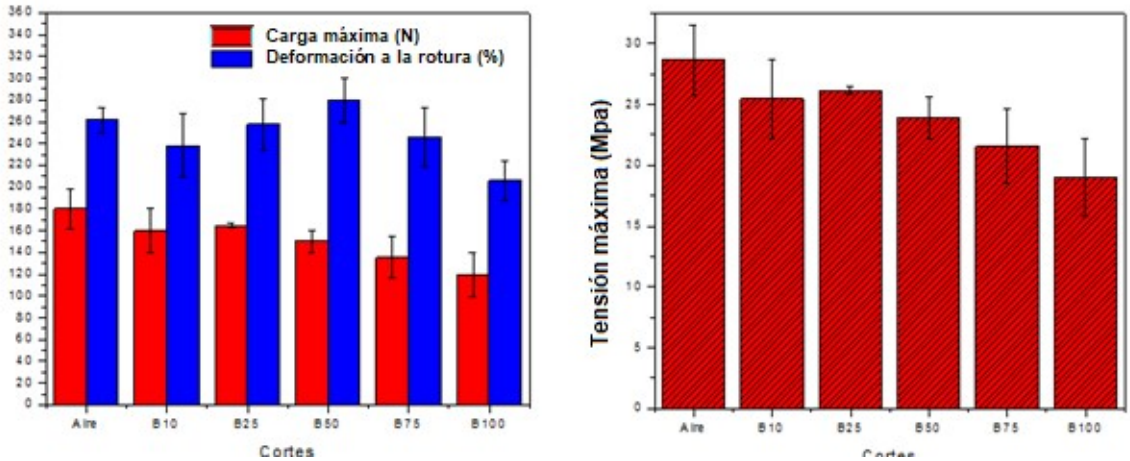


Figura 38: Propiedades mecánicas o' ring de NBR.

La evolución del Módulo de Young desde las probetas sin exposición hasta las inmersas en B100, se muestra en las curvas σ-ε de la Figura 39. La rigidez del material parece no verse afectada en este estudio. Se obtuvo una leve disminución del 10% entre las probetas expuestas a B50 (valores registrados más bajos) y las expuestas al diésel.

Respecto de las probetas que no fueron sumergidas en combustible, la disminución de la rigidez estuvo en torno al 12%.

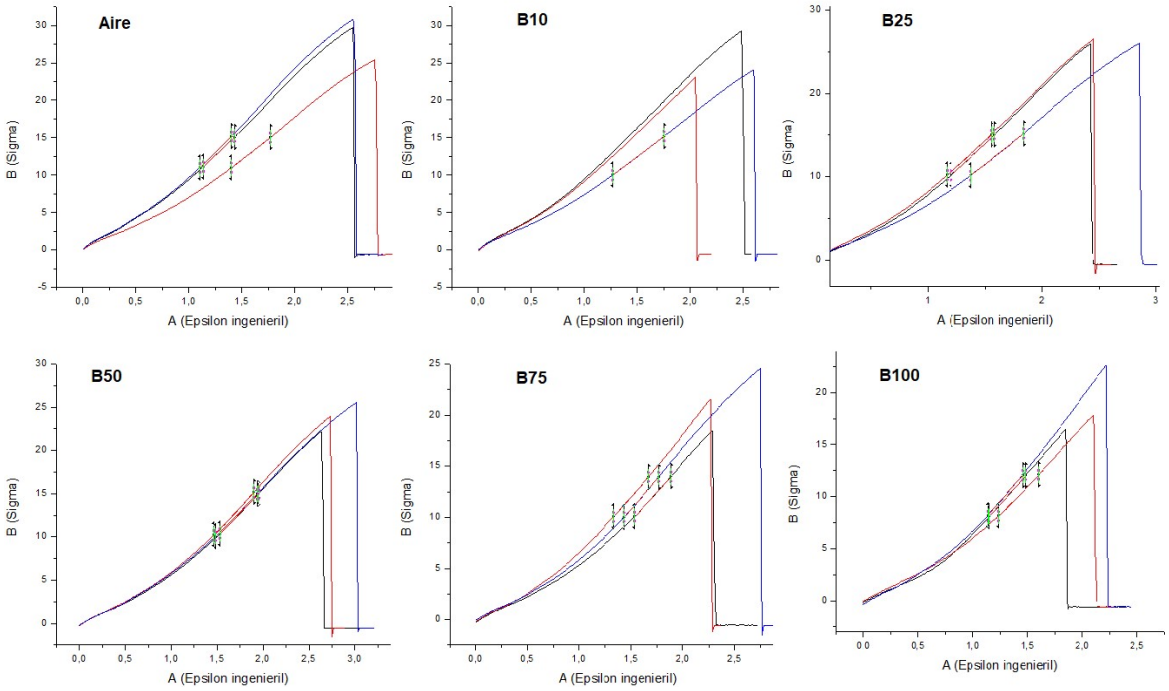


Figura 39: Curvas σ-ε para o'rings de NBR

En la Figura 40, se grafican los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos en las empaquetadoras (o'rings) de vitón color marrón. Si consideramos la resistencia a la tracción, en todos los casos donde las muestras estuvieron en contacto con los distintos combustibles, se registró una ligera disminución de este valor respecto a las que no fueron expuestas. Por otro lado, los o'rings mantuvieron a lo largo de toda la serie (B10 a B100) su carga máxima prácticamente invariable, presentando una leve diferencia de 14% entre los valores mínimos (B10, B25, B50, B100) y el máximo (B75). Para el caso de la deformación a la rotura, solamente las probetas expuestas al corte B100 registraron valores inferiores a las muestras sin exposición al combustible. También se observa que a partir del corte B50, la deformación cae a medida que aumenta la concentración de biodiesel, presentándose el menor valor de la serie para el corte B100. En general, se puede afirmar que este material no se ve perjudicado por el corte de combustible, dado que no hay una tendencia clara que indique una disminución en las propiedades respecto al diésel.

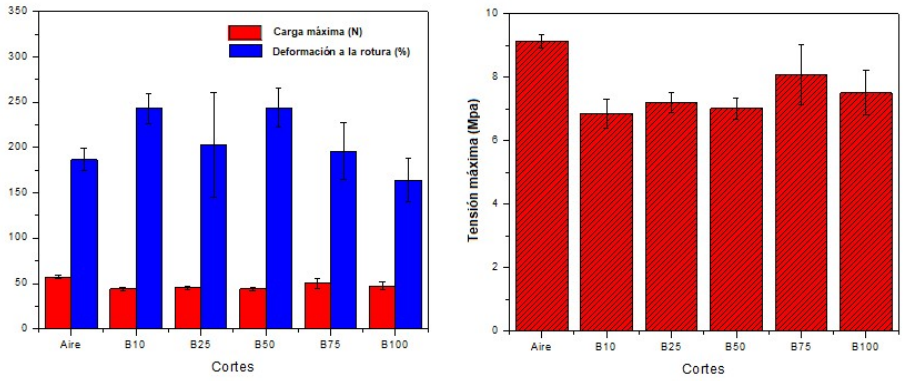


Figura 40: Propiedades mecánicas o' ring de vitón marrón

A partir de las curvas σ-ε de la Figura 41 se estimaron los valores del Módulo de Young para los o'rings expuestos a los distintos cortes de biodiesel. A lo largo de toda la serie, para los casos en los que se obtuvieron las mayores deformaciones hasta la rotura (B10 y B50), se registraron los menores valores de rigidez del material, y para aquellos donde se observaron los menores valores de deformación (B100, B75 y B25 respectivamente), se obtuvieron los mayores valores del Módulo de Young. Esto es un claro indicativo de que el aumento en la rigidez generó una disminución en la deformación hasta la rotura. Las tendencias de absorción no presentaron una correlación directa con lo observado en este caso, es decir, las probetas que registraron las mayores tasas de absorción al final del ensayo no fueron las que obtuvieron los mayores valores de rigidez.

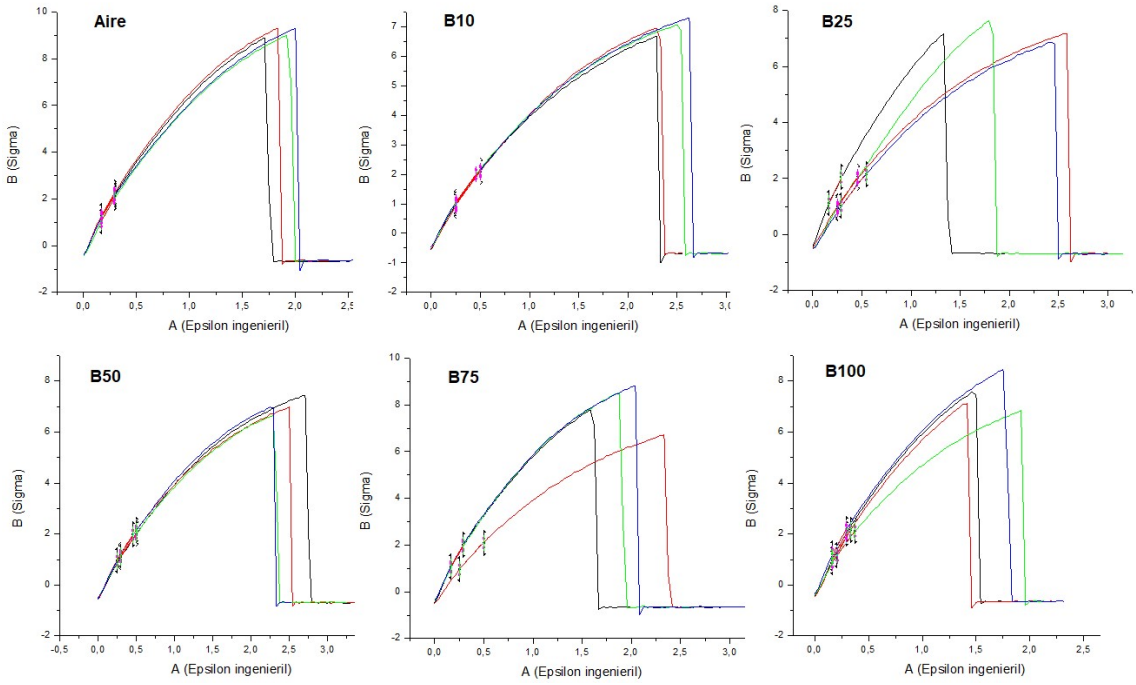


Figura 41: Curvas σ-ε para o'rings de vitón marrón

Para el caso de los o'rings de viton color verde, tanto para los de menor diámetro como los de mayor, se observa que los valores de las propiedades mecánicas correspondientes a la carga máxima, son ligeramente inferiores a los que presentan las muestras sin exposición a combustible, Figura 42 y Figura 44. Estos o'rings tienen la misma composición química, por lo tanto se esperaría que presenten comportamientos similares. En el primer caso, la mayor diferencia se dio con el corte B10, el cual disminuyó su resistencia alrededor de un 50%, mientras que en el segundo, los menores valores se registraron para los cortes B25 y B50, con una disminución del 25% aproximadamente. A pesar de esto, en ninguno de los casos se observa una tendencia clara de cómo evoluciona esta propiedad con respecto a las distintas composiciones de biodiesel, pero lo que sí se puede afirmar es que no hubo grandes variaciones desde el corte B10 al B100. Por su parte, la deformación hasta la rotura tampoco sufrió variaciones significativas a lo largo de toda la serie. De esto se induce que la concentración de biodiesel en el combustible no afecta las propiedades mecánicas del material vitón verde. Respecto de la rigidez del material de ambos tipos de probetas, la misma no se vio afectada por ninguno de los combustibles, presentando valores similares a las muestras que no fueron expuestas.

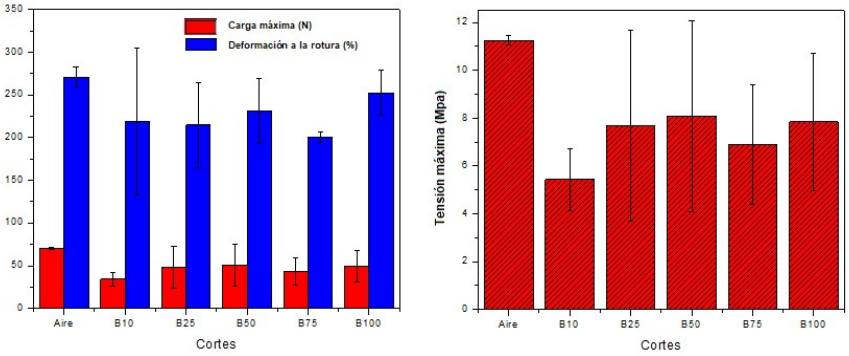


Figura 42: Propiedades mecánicas o' ring de viton verde chico

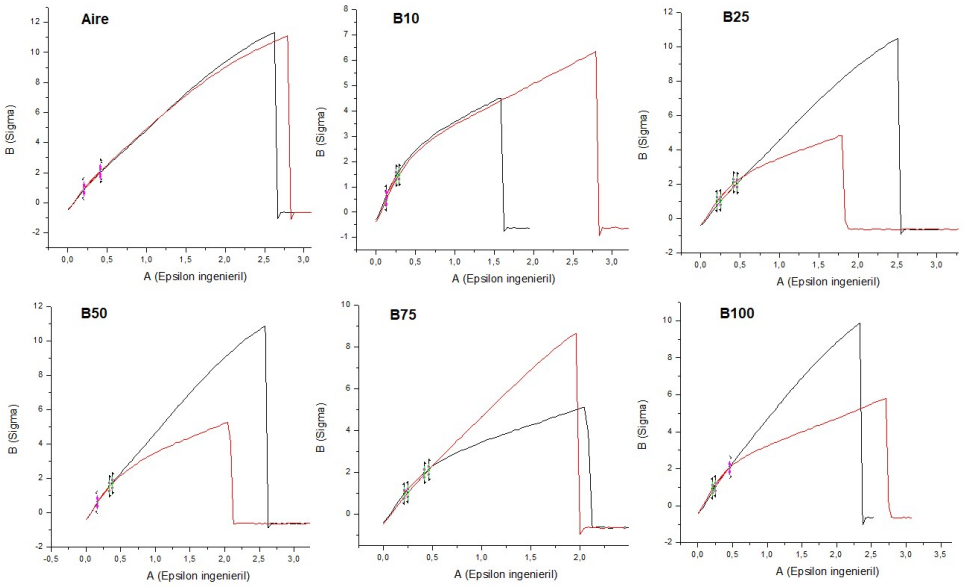


Figura 43: Curvas σ-ε para o'rings de vitón verde chico

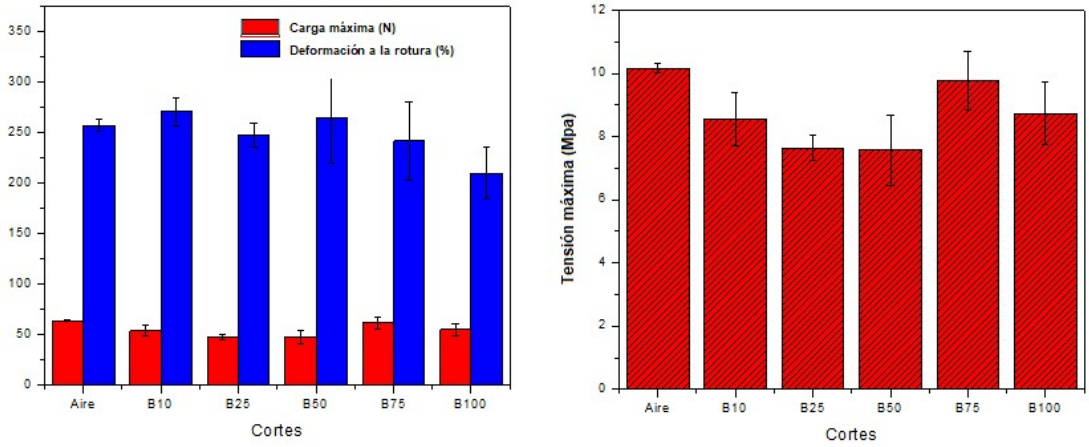


Figura 44: Propiedades mecánicas o' ring de vitón verde grande

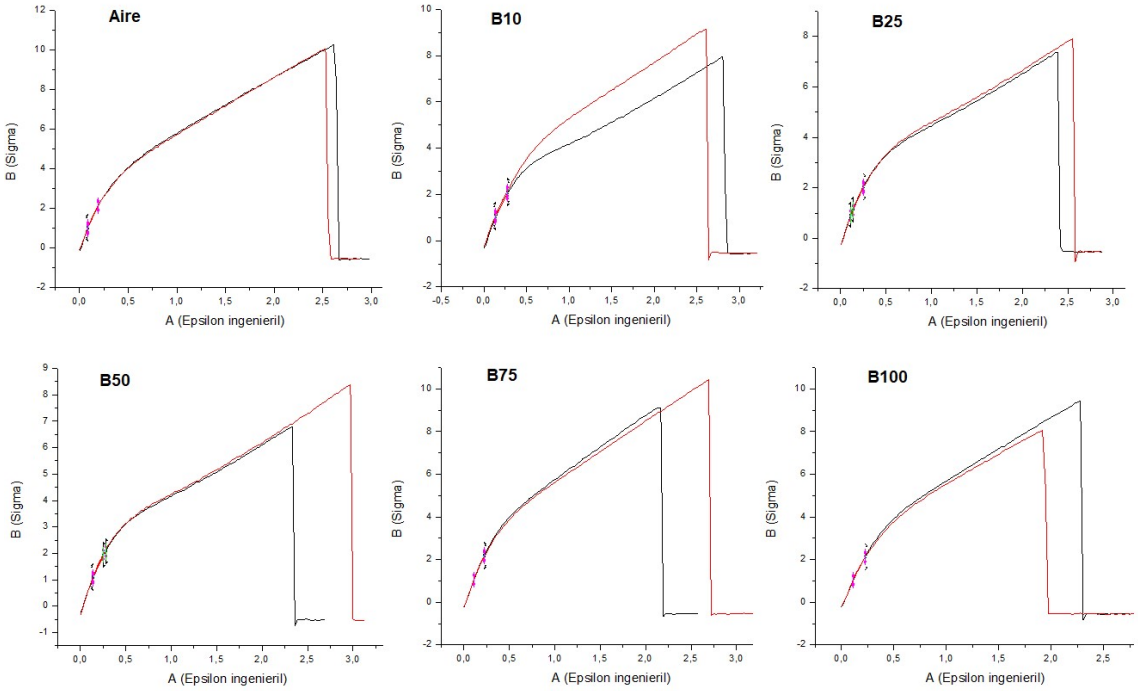


Figura 45: Curvas σ-ε para o'rings de vitón verde grande

Probetas tanque de combustible

Los resultados obtenidos están directamente influenciados por el área transversal de cada probeta, debido a que la superficie del tanque de combustible (del cual fueron obtenidas) presentaba espesor variable a lo largo de su geometría. Para no afectar las diferentes capas que lo componen se decidió no rectificar sus caras y tener en cuenta los

diferentes espesores de probetas a lo hora del análisis de resultados. Lo expuesto anteriormente se refleja en las diferencias observadas entre la carga máxima y la tensión de rotura. Para el caso de la carga máxima, los valores se obtuvieron de un extensómetro colocado en la máquina de ensayo de tracción, mientras que los de tensión de rotura, se calcularon tomando la carga máxima arrojada y dividiéndola por el área transversal de la probeta. Dicha área, como se mencionó anteriormente, se ve afectada por los distintos espesores de cada muestra confeccionada, y esto influyó directamente en los valores de tensión obtenidos. Teniendo esto en cuenta, se analizan las tendencias presentadas en los gráficos.

En el gráfico de carga máxima, se aprecia una tendencia al aumento en la resistencia a la tracción, a medida que aumenta el corte de biodiesel en el combustible. Se ve claramente que el grupo de probetas no expuestas registró el menor valor de carga a la rotura. Por su parte, en el gráfico de tensión de rotura, se observa que los valores máximos se mantuvieron prácticamente iguales para todos los cortes, y esto es debido a la falta de uniformidad en los espesores de las probetas.

Para el caso de la deformación a la rotura, la proporción de biodiesel en el combustible pareciera no afectar esta propiedad mecánica, dado que los resultados obtenidos se registraron en un rango de 45% a 63% de deformación, y sin presentar una tendencia clara. A su vez, tampoco hay diferencia significativa con respecto a las probetas que no fueron sumergidas en combustible.

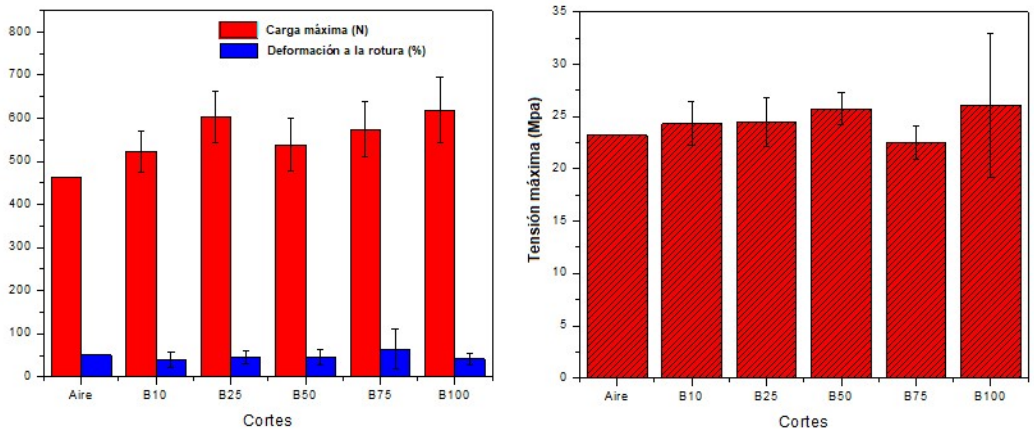


Figura 46: Propiedades mecánicas probetas tipo hueso de HDPE

Las curvas de σ-ε para las probetas del tanque de combustible se indican en la Figura 47. Todas presentaron la misma tendencia en su comportamiento a la tracción, registrando un pico de tensión a bajas deformaciones, para luego disminuir y continuar deformándose a tensión constante hasta su rotura. Para todos los casos el Módulo de Young disminuyó respecto de las probetas que no fueron expuestas a ningún combustible, y salvo para el caso B50, todas registraron valores por debajo del correspondiente al combustible diésel (B10). Aun así, la diferencia entre el valor mínimo y el máximo de las probetas expuestas estuvo alrededor del 13%, por lo cual se puede decir que la concentración de biodiesel no afectó en gran medida la elasticidad del material.

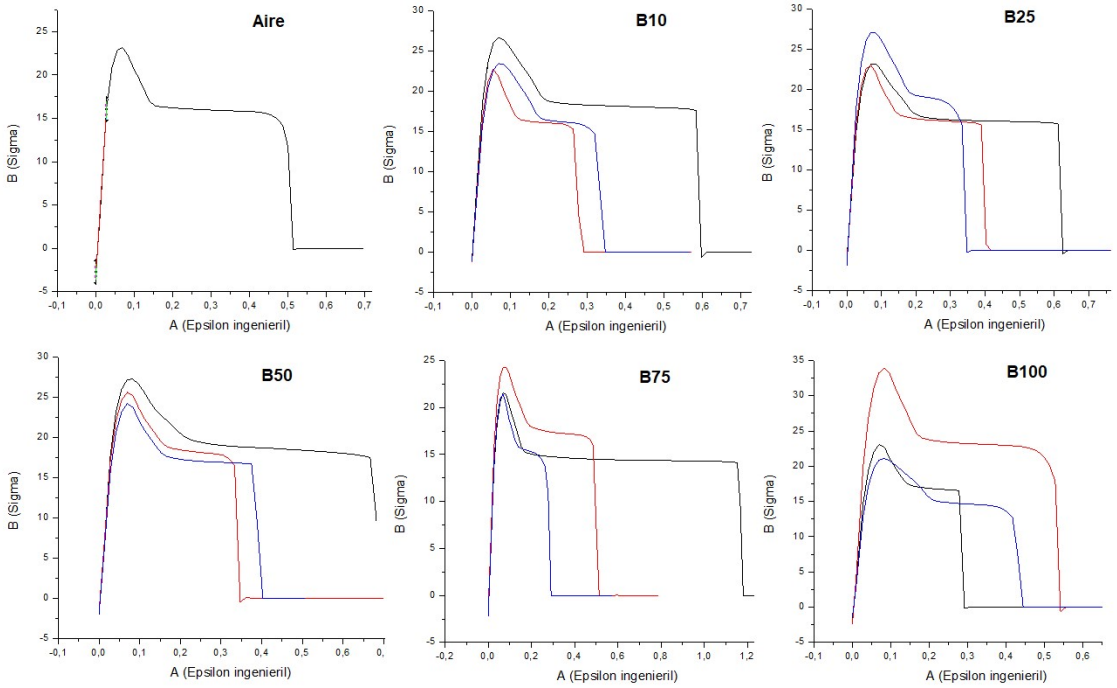


Figura 47: Curvas σ-ε para probetas tipo hueso de HDPE

4.2.2.3 Discusión

Cambios en propiedades mecánicas tales como módulo elástico, tensión máxima, deformación a la rotura, resistencia a la abrasión y dureza se relacionan al peso de fluido absorbido por el polímero, dado que el fluido actúa como un plastificante del material tendiendo a una disminución de estas propiedades por la reducción de los enredos entre las cadenas y la interacción entre ellas. Para entender el efecto que el biodiesel puede tener en las propiedades mecánicas, es importante tener en cuenta que los diversos componentes que son agregados y forman parte de los polímeros, como por ejemplo agentes de curado o aceleradores, sirven para mejorar las propiedades mencionadas anteriormente, causando el entrecruzamiento de las cadenas. Las redes pueden ser regulares, altamente irregulares, estrechamente entrecruzadas, ligeramente entrecruzadas, altamente imperfectas con muchos extremos libres y moléculas atrapadas en la red pero sin unirse a ella, o combinaciones de todo lo anterior. Por lo tanto, la caracterización de la estructura de un polímero reticulado es muy compleja. Los enredos de estas largas cadenas básicamente actúan generando obstrucciones al movimiento y permiten al polímero mantener una propiedad estable [79]. El efecto inicial de unos pocos entrecruzamientos se traduce en un incremento en el peso molecular del polímero, creando moléculas ramificadas y una distribución del peso molecular más amplia. Para estas moléculas ramificadas es más complicado desenredarse, por lo tanto la resistencia se ve incrementada [80]. Pero como resultado de la reacción entre los agentes de reticulado y/o rellenos, con diversos componentes del biodiesel, los primeros pueden migrar al combustible causando que diferentes propiedades mecánicas puedan verse afectadas [49]. Por otro lado, la naturaleza higroscópica del biodiesel puede introducir agua en la matriz polimérica lo que también puede ser un factor importante en cuanto al deterioro de las propiedades del material [71].

Para las mangueras de Tela de Poliéster es claro el efecto negativo que tiene la absorción de biodiesel sobre sus propiedades mecánicas. Se observa una correlación directa entre el aumento del corte, la absorción de combustible por parte del material, y la

disminución de su resistencia a la tracción y deformación hasta la rotura. En el caso de la rigidez del material, se observó que los distintos cortes tendieron mínimamente a rigidizar el mismo. En general, la resistencia de un elastómero a la deformación aumenta a medida que la densidad de reticulación se incrementa. Por su parte, la deformación a la rotura disminuye con el aumento en la densidad del reticulado dado que las cadenas moleculares más cortas alcanzan su límite de extensibilidad más rápidamente que las más largas. Y finalmente tanto la tensión a la rotura como la energía de ruptura por unidad de volumen (área bajo la curva tensión-deformación) primero aumentan con el incremento del reticulado, pasan a través de un máximo a bajos grados de reticulación, para luego descender progresivamente [80] [81]. La mayor tasa de difusión del solvente observada en los cortes superiores, indica una mayor interacción química entre los mismos lo que parecería provocar una disminución en la densidad de entrecruzamientos en la red polimérica y consecuentemente, esto facilitaría la penetración de mayor cantidad de combustible. El comportamiento mecánico en los ensayos de tensión-deformación está íntimamente relacionado a las interacciones de las cadenas principales en la matriz del material. El impacto que genera la absorción de biodiesel sobre los distintos compuestos que constituyen al polímero, puede que derive en una relajación de las cadenas poliméricas y consecuentemente en una disminución en la densidad del reticulado. Cuando se somete a tracción un elastómero no reticulado o con baja densidad de entrecruzamientos, las cadenas moleculares se deslizan entre sí desenredándose fácilmente debido a la naturaleza débil de las fuerzas de Van der Waals entre las cadenas. Esto conlleva una disminución en la resistencia a la tracción final, tal cual lo observado en los ensayos de tracción. Lo llamativo en este caso, es que siguiendo el mismo concepto en cuanto a la disminución en la densidad del reticulado, la deformación hasta la rotura debió haber aumentado hacia el corte B100, lo cual no sucedió. Esto puede deberse, como se mencionó al principio del párrafo, al grado y tipo de reticulación presentado por el material. Las mangueras de PVC por su parte, si bien registraron una pérdida importante de masa para los cortes superiores a B25, puede que se haya debido solo a la disolución y migración de componentes del polímero tales como plastificantes (que otorgan flexibilidad) y colorantes por parte de los componentes más livianos presentes en el biocombustible. Esto parece no haber provocado una relajación del reticulado de las cadenas poliméricas, sino todo lo contrario. Los registros indicaron que la tensión máxima aumentó desde el corte B10 hasta el B100 progresivamente, obteniéndose para este último caso valores cercanos a las muestras que no fueron expuestas. En cuanto a la resistencia a la deformación y el Módulo de Young, los resultados parecen coincidir con lo planteado respecto al concepto de densificación de la red molecular. La primera tendió a descender en los cortes superiores (B75 y B100) donde se obtuvieron los mayores valores de carga, mientras que la segunda no disminuyó, lo cual indica que el material no sufrió relajación en el entrecruzamiento de sus cadenas. Los módulos elásticos parecen ser casi independientes de la estructura química de la red y dependen principalmente de los entrecruzamientos de la estructura de la red. Por lo tanto, pueden considerarse un buen método empírico para caracterizar un materiales reticulado [81].

Los resultados observados para las propiedades mecánicas del caucho de nitrilo butadieno indican que el biodiesel fue más degradativo que el combustible diésel. Las propiedades físicas y mecánicas del NBR están determinadas por la reticulación entre las cadenas de polímero y la columna vertebral. Después de sumergirse en el biodiesel, es probable que los entrecruzamientos en la cadena polimérica del NBR se reduzcan al reaccionar con diferentes componentes del biodiesel, y por ende empeoren las propiedades mecánicas de este material [5]. Por otro lado, el NBR está compuesto por plastificantes, estabilizadores y aditivos, y la extracción de estos componentes consecuencia de la afinidad polar que hay entre el material y el solvente puede ser también causa de reducción en las propiedades mecánicas. De todas formas, sea uno u el otro el proceso dominante, si miramos la tendencia de absorción, se aprecia claramente que los cortes en los que se produjo la mayor reducción en la tensión máxima, coinciden con los que provocaron una mayor absorción de combustible en las probetas. Por lo tanto se infiere que la absorción de biodiesel por parte de este material tiende a reducir su límite de rotura. Algunos autores han

observado que con el aumento en el contenido de acrilonitrilo, logra disminuirse el efecto negativo del biodiesel sobre las propiedades mecánicas, al lograr un aumento en el reticulado de las cadenas poliméricas [77] [78]. Coronado et al. [40] observaron la superficie de probetas confeccionadas con este material, expuestas a diferentes cortes de biodiesel, mediante análisis a través de SEM (scanning electron microscope) y confirmaron la absorción, deformación y rotura del material polimérico como resultado de la acción solvente del combustible. El proceso de degradación comienza con el ataque y penetración por parte del solvente creando ampollas, y luego la formación y propagación de grietas y eliminación del material a lo largo de su superficie. Este deterioro del material se ve acentuado con el aumento en la concentración de biodiesel. Para el caso de los o'rings de Viton pequeñas variaciones sin una tendencia clara, fueron observadas tanto en la resistencia a la tracción como en la deformación a la rotura. Esto era de esperarse teniendo en cuenta que este material no sufrió grandes modificaciones en su peso luego de los ensayos de inmersión, lo cual es un indicativo de la buena compatibilidad que presenta a la exposición frente a distintos combustibles. En cuanto a la morfología de la superficie de este tipo de material, Alves et al. [19] observaron que comparadas con las muestras crudas, las expuestas a diésel, presentaron pocos cambios, mientras que las expuestas a los distintos cortes de biodiesel mostraron una leve presencia de pitting y grietas, pero sin ser significativo.

El polietileno de alta densidad (HDPE) presentó mejor comportamiento frente a los combustibles con mayor concentración de biodiesel. La deformación hasta la rotura prácticamente no se vio influenciada por el corte, mientras que la carga máxima tendió a aumentar hacia el corte B100, incluso a valores superiores a los de las probetas sin exposición. Por su parte la elasticidad del material si bien disminuyó respecto de las muestras crudas, pequeñas diferencias se registraron entre las expuestas al diésel y las inmersas en B100. Los valores registrados resultan lógicos. Dada la polaridad de ambas sustancias, era esperable que se produzca una mayor interacción química entre el combustible diésel y el HDPE. Si se observa la tendencia de absorción de este material, se ve que no sufrió disolución o migración de unidades de alto peso molecular, dado que constantemente aumentó su masa para todos los cortes de biodiesel, con la notoriedad de que las que más aumentaron su peso fueron las probetas en los combustibles con menor corte .

CAPÍTULO 5

Resultados del uso del biodiesel en el aceite lubricante.

5.1 Introducción

Se analizó el comportamiento del lubricante HD suplemento 1 de YPF a partir de los datos arrojados en los ensayos de laboratorio realizados al mismo. Las propiedades evaluadas fueron, viscosidad a 40°C y 100°C, densidad, agua de destilación, índice de viscosidad y punto de inflamación. Las muestras se tomaron cada 10 horas de funcionamiento.

Una vez finalizado este ensayo, se procedió al desarmado del motor para evaluar el estado de las partes móviles del conjunto de potencia, mediante inspección visual.

5.2 Resultados y discusión

A continuación se detallan los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio realizados a las muestras de aceite lubricantes durante el ensayo del motor Pertrak.

5.2.1 Viscosidad

Con respecto a la viscosidad a 40ºC se nota, primero una tendencia a la disminución y luego un incremento, alcanzando valores finales similares a los iniciales. Sin embargo la viscosidad a 100ºC muestra una leve tendencia al incremento. Ambos resultados son contradictorios a lo esperado que es una disminución de la viscosidad con el tiempo de uso, debido a la disolución del lubricante con combustible [65].

Lo más significativo es el cambio en la viscosidad, primero bajando abruptamente y luego aumentando. Una hipótesis de este comportamiento es que no se quema por completo el combustible en la cámara de combustión. El carburante (mezcla gasoil-biodiesel), en estas circunstancias, tiende a pasar hacia el cárter. De hecho, baja a través de la falda del pistón hacia dicho elemento, donde se mezcla con el aceite de motor.

Una vez que ocurre esta anomalía tienen lugar varios efectos. Uno de ellos es el lavado de las paredes de la camisa, de la falda del pistón y de los aros, lo cual implica que el carburante arrastra al aceite, por lo que la zona se queda sin lubricación y se produce un desgaste de las camisas.

Otro efecto del paso del carburante al cárter tiene que ver con la dilución del aceite que provoca. Esta circunstancia implica que el lubricante pierda viscosidad, de manera que las películas que se forman son más débiles a la hora de soportar las altas cargas que se producen en ciertos puntos, como la zona de los cojinetes de biela y cigüeñal [56] [57] [58]. Si la viscosidad baja demasiado se produce contactos entre las superficies metálicas, lo que conlleva un desgaste rápido de los cojinetes por el rozamiento.

El efecto de volver a tomar valores altos la viscosidad se estima se debe a la utilización de la mezcla gasoil biodiesel, que al ingresar al cárter a través del conjunto camisa-pistón-aro se ve sometido a altas temperaturas, y luego de un tiempo de funcionamiento se evapora parte del gasoil, de tal manera que se concentra la cantidad de biocombustible [68]. Esto provoca que el biodiesel sea menos fluido y más viscoso que el gasoil, por lo que el lubricante se espesa. Debido a este efecto, la viscosidad de la mezcla de lubricante y carburante aumenta, mientras que el desgaste de los cojinetes se puede acelerar en gran medida.

En nuestro caso, debido a los recursos disponibles no se pudo continuar el ensayo y determinar la tendencia final de la viscosidad con respecto al tiempo de uso.

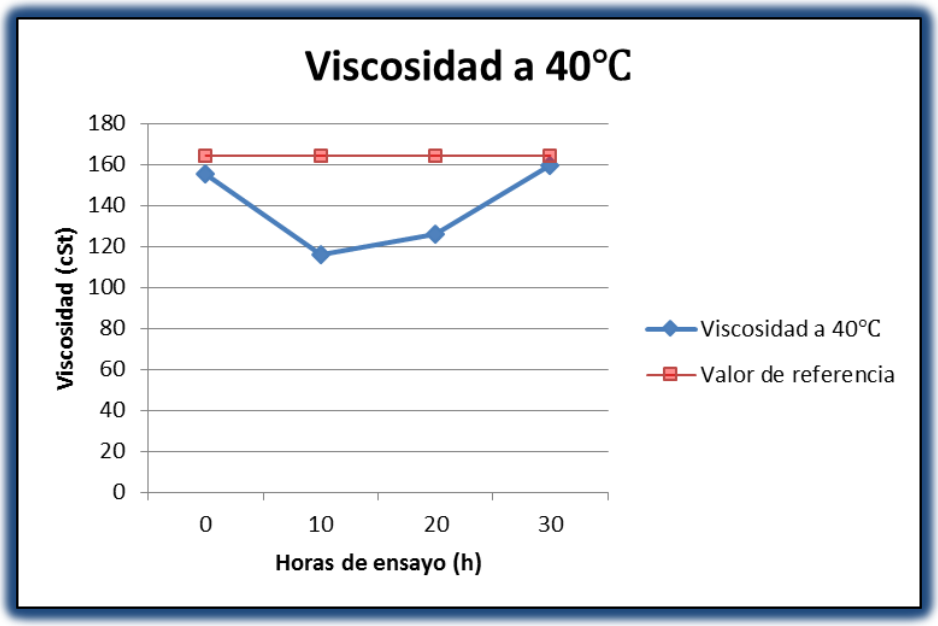


Figura 48: Ensayo de viscosidad a T=40°C

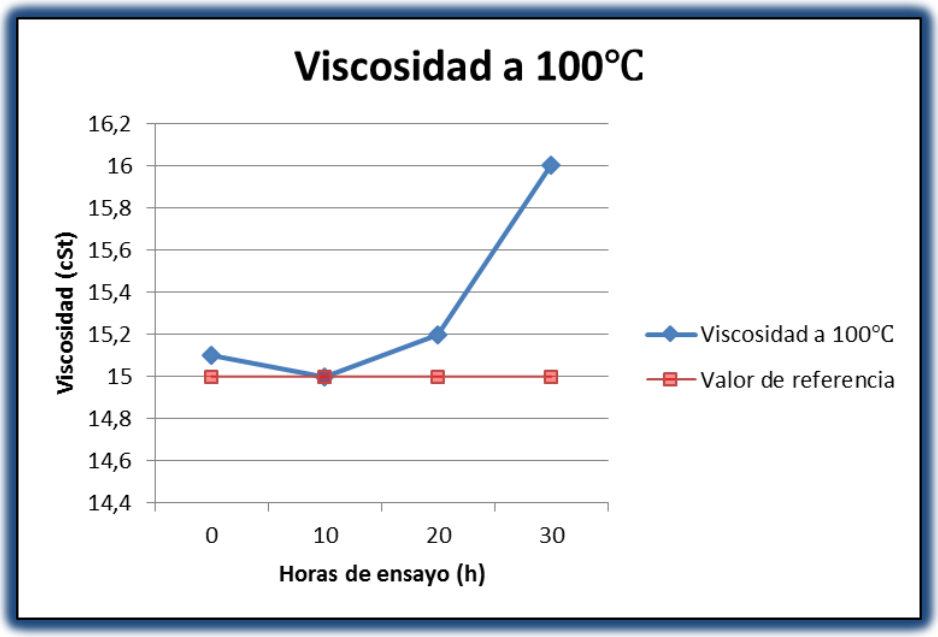


Figura 49: Ensayo de viscosidad a T=100°C

5.2.2 Índice de viscosidad

En este ensayo se observa un aumento repentino en las primeras horas de uso del lubricante con respecto al lubricante sin uso. Sin embargo con el correr del ensayo se observa una clara tendencia a la disminución del IV, lo cual no es beneficioso para las partes móviles del motor, ya que representa que el lubricante tendrá menos viscosidad a altas temperaturas de funcionamiento y mayor en arranques en frio. Cabe destacar que valores por encima de 100 son los recomendados. De todas formas los valores obtenidos se encuentran por encima del valor de referencia, lo cual es positivo según lo explicado anteriormente. Al tener una tendencia a la baja, es de esperar que con el correr de las horas de funcionamiento los valores se encuentren por debajo de estos valores de referencia. Sin embargo, al no tener valores experimentales, no podemos hacer comentarios al respecto.

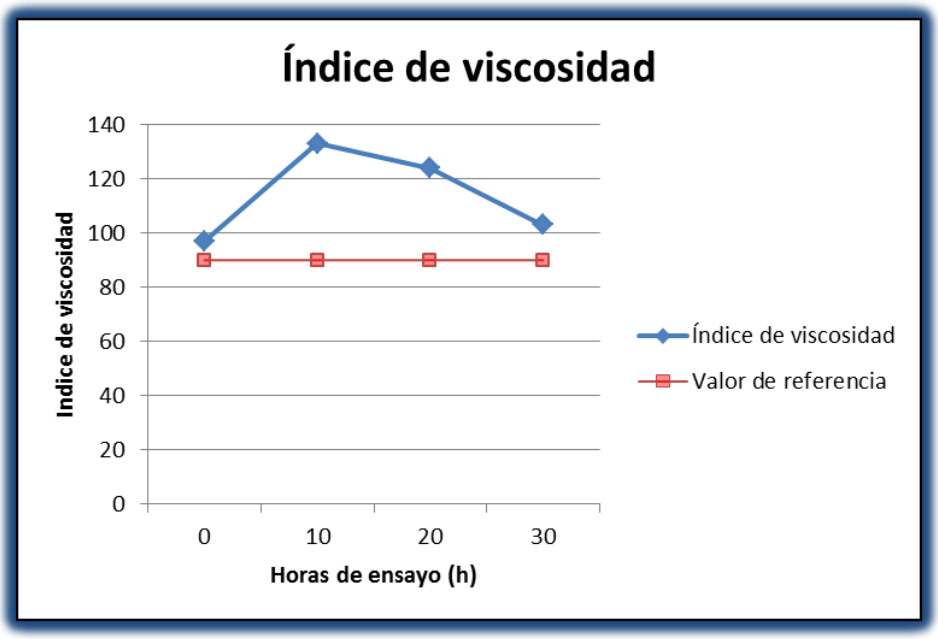


Figura 50: Ensayo de índice de viscosidad

5.2.3 Densidad

Los valores de densidad no se ven afectados durante el tiempo de funcionamiento analizado. Aunque sería de esperar que dichos valores aumenten a causa de las partículas de desgaste "debris" y por el aumento en el contenido de humedad en el aceite.

Un aumento de la densidad, también incrementa el potencial erosivo del fluido. En regiones de alta velocidad o alta turbulencia de un sistema, el fluido comienza a erosionar la superficie a lubricar.

No solo las partículas sólidas afectan a la densidad del fluido, también lo hacen otros contaminantes, como el aire y el agua. Ambos tienen un marcado impacto en la densidad.

La oxidación influye también en la densidad del fluido. Conforme esta avanza, se incrementa la densidad del aceite. Con esto observamos que el biodiesel no oxida al aceite lubricante, ya que este tiene una leve tendencia a partir de su uso a bajar la densidad [67].

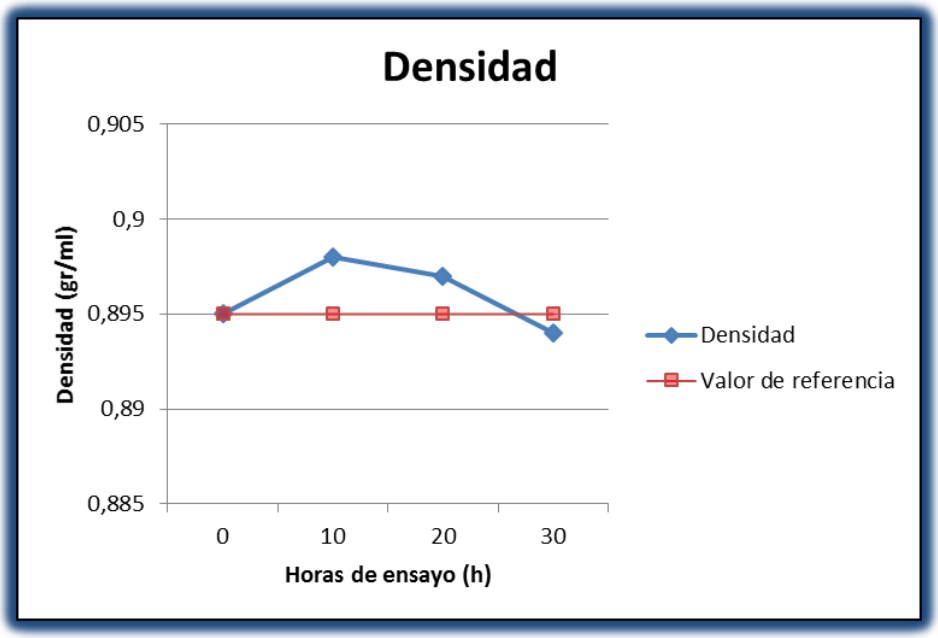


Figura 51: Ensayo de densidad

5.2.4 Agua por destilación

Los análisis realizados no revelan variaciones significativas en el contenido de humedad del fluido lubricante. La humedad en el lubricante causa efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y degradación de los aditivos del aceite lubricante. El aumento del contenido de humedad se debe fundamentalmente a la diferencia de temperatura del aceite y del aire ambiente, en conjunción con el fenómeno físico de la presión de vapor de la humedad ambiente.

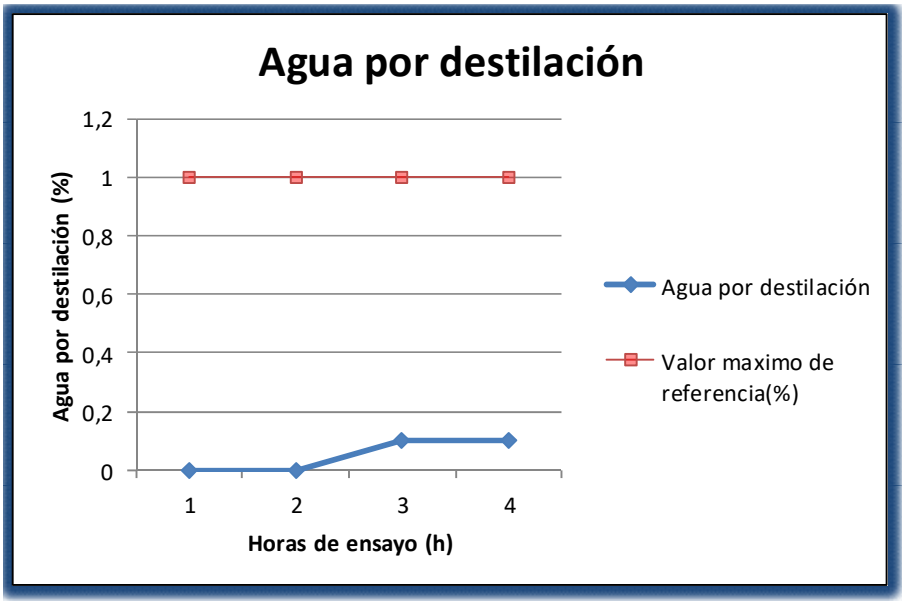


Figura 52: Ensayo de agua por destilación

5.2.5 Punto de inflamación

El punto de inflamación hace evidente una leve tendencia a la disminución con el funcionamiento. En este caso la tendencia coincide con la marcada en la bibliografía [65]. La disminución del punto de inflamación con el uso, se fundamenta en la dilución del aceite con combustible. Esta dilución debilita las fuerzas de Van der Waal`s de los enlaces de la molécula de lubricante facilitando la vaporización del mismo. De lo analizado anteriormente podemos concluir que la duración del ensayo realizado no ha sido suficiente, como para marcar tendencias definidas sobre las variables estudiadas.

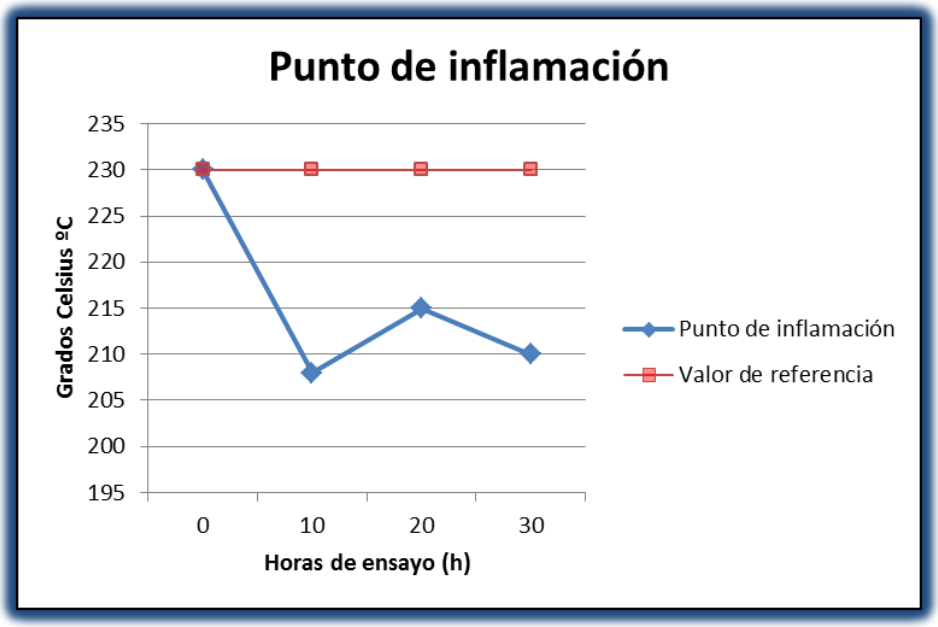
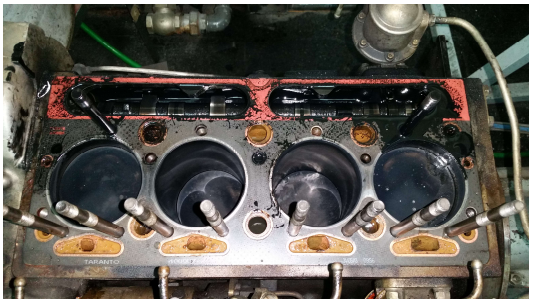


Figura 53: Ensayo de punto de inflamación

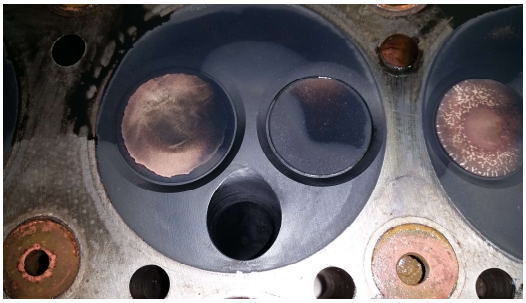
5.3 Evaluación de efectos sobre piezas metálicas móviles del motor

A partir del desarmado del motor, se procedió a realizar una inspección visual sobre las diferentes partes que lo componen. A continuación se muestran las fotografías de los distintos elementos.



Block de motor luego del ensayo.

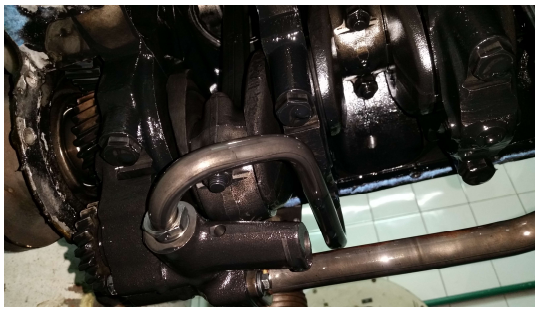
Válvulas de escape y admisión. Cil. 1



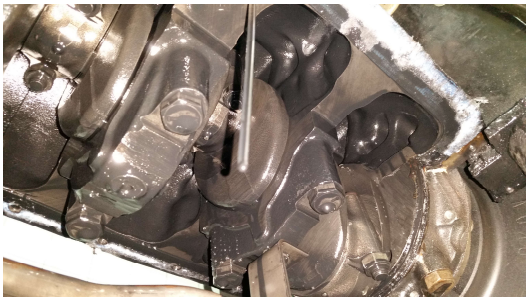
Válvulas de escape y admisión. Cil. 2

Válvulas de escape y admisión. Cil. 3

Válvulas de escape y admisión. Cil. 4



Cigüeñal y bomba de aceite



Cigüeñal

Biela con su cojinete, Cil. 1

Biela con su cojinete, Cil. 2

Biela con su cojinete, Cil. 3

Biela con su cojinete, Cil. 4

Pistón y aros. Cil. 1

Pistón y aros. Cil. 2

Pistón y aros. Cil. 3

Pistón y aros. Cil. 4

Block camisa. Cil. 1

Block camisa. Cil. 2

Block camisa. Cil.3

Block camisa. Cil.4

Árbol de levas.

A partir del desarmado del motor, luego del ensayo, y si bien este estudio corresponde al desarrollo de otro trabajo de investigación, se pudo observar que el recubrimiento cerámico que tenían las válvulas, en el caso de las de admisión se mantuvo en buen estado, sin presentar alteraciones, sin embargo las de escape, debido a la alta temperatura de trabajo sumado al esfuerzo mecánico de fatiga térmica que soportan, presentaron pérdida parcial del recubrimiento en la zona de la periferia de la cabeza. Estos restos pudieron haber provocado daños mecánicos en camisas y pistones.

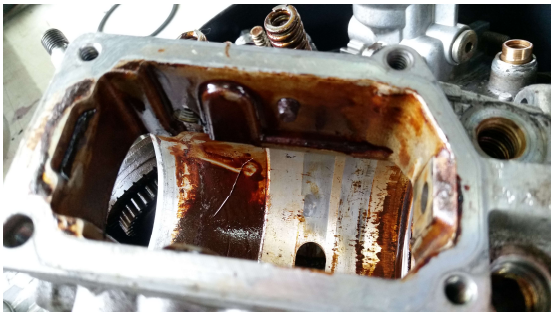
Con respecto a los cojinetes se observan presencia de rayas realizadas por arrastre de material por contacto metal-tercer cuerpo-metal, esto se debe a una deficiente lubricación y presencia de partículas de desgaste. En la bibliografía consultada rechazan cualquier tipo de efecto negativo al usar Biodiesel como combustible con respecto a las partes metálicas del motor. Encuentran desgastes normales luego de ensayos prolongados [54] [55] [56] [60] [61] [62] [63].

El conjunto pistón-camisa se encuentra en buen estado. Con desgaste propio del uso, presentando desgaste en la zona cercana a la cabeza del pistón por encima de los aros en el sector del perno, por lo que se puede deducir un cabeceo lateral del mismo. En la camisa se observa un sombreado producto de lo mencionado anteriormente. El recubrimiento cerámico del pistón se encuentra en buen estado sin presentar perdida del mismo como ocurrió con las válvulas.

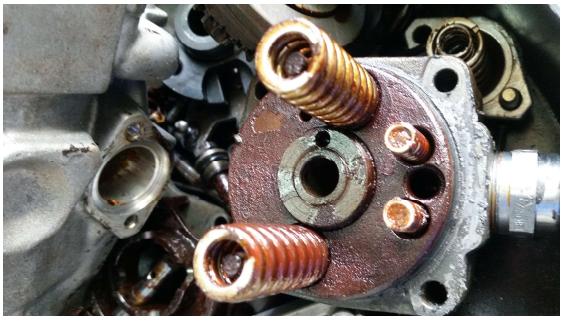
Con respecto al árbol de levas no muestra indicios de deterioro alguno.

Cabe aclarar que el motor ya se había utilizado para otro ensayo de potencia con uso de biodiesel, para el cual se había realizado el recubrimiento cerámico a válvulas y cabezas de pistones. Por cuestiones presupuestarias no se realizó el desarme correspondiente para realizar el cambio de piezas nuevas para tener una mejor referencia de los mismos.

Al no tener los recursos necesarios para efectuar el desarme de la bomba inyectora utilizada en el ensayo, se recurrió a un laboratorio diésel donde se efectúan reparaciones de las mismas. Se pudo observar como se muestra en las siguientes imágenes los efectos de la utilización del biodiesel.



Cuerpo de bomba inyectora.



Cabezal

Eje de mando con bomba alimentadora.

Carcaza

La bomba observada es de tipo rotativa de 4 cilindros, de similares características a la utilizada en el ensayo. Esta bomba pertenece a una camioneta Ford Ranger con motor Maxion 2.5l.

La misma fue utilizada con una mezcla gasoil-biodiesel al 50% aproximadamente, según datos aportado por el propietario del vehículo. El gasoil comercial utilizado es de tipo común marca YPF.

El vehículo al cual pertenece la bomba inyectora estuvo sin utilizarse durante el periodo de 6 meses. Cuando se procedió a darle marcha, al momento del arranque se apreció una falla importante, por lo cual se determinó el desarme de la bomba inyectora.

Como se observa en las fotografías, todas las partes interiores de la bomba se encuentran con una película adherida, la misma tiene un color marrón óxido de característica pegajosa y de muy difícil remoción.

Esta página se deja en blanco

CAPÍTULO 6

Conclusiones

En el presente trabajo se estudiaron, por un lado los efectos de los distintos cortes de biodiesel a base de aceite de soja, en distintos materiales poliméricos utilizados normalmente en los sistemas de inyección de combustible de los motores diésel. Por otra parte, se analizaron los efectos causados por un corte gasoil-biodiesel B50, en el aceite de lubricación del cárter y se describió cualitativamente el impacto de este corte sobre distintos componentes del motor y del sistema de inyección.

Los resultados sugieren las siguientes conclusiones:

Mangueras

- El ensayo de absorción de las probetas de tela-poliéster (manguera negra), en todos los casos muestran una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, seguida por una pérdida de masa hasta la estabilización. Se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B7,5 y B25). El porcentaje final de aumento de masa se situó cercano al 4% en el caso del B7,5, y del 6% en el caso del corte B25.

- Los ensayos mecánicos realizados sobre probetas de la manguera tela-poliéster muestran una importante disminución de propiedades mecánicas, haciéndose más notorio este efecto en cortes superiores a B50. En cuanto a la elongación máxima se puede apreciar que los valores tienden a estabilizarse para cortes superiores a B25.

- Para el ensayo de absorción de las probetas de manguera de policloruro de vinilo (PVC) (manguera amarilla), en todos los casos se puede apreciar un aumento de peso seguido por una importante baja en el peso total de las muestras para cortes superiores al B50.

- Los ensayos mecánicos de la manguera de PVC evidenciaron que las cargas máximas se mantienen, no registrándose pérdida importante en la resistencia. En cambio, el comportamiento en deformación se ve afectado en cortes superiores a B50.

- En el ensayo de absorción de las probetas de manguera de politetrafluoroetileno (PTFE) (manguera blanca), se observa un importante aumento de peso en las primeras etapas del ensayo. A partir de las 500 hs en adelante, la disminución de masa fue progresiva para todos los cortes, obteniéndose en todos los casos pesos finales cercanos al peso inicial.

O'rings

- Con respecto al ensayo de absorción de los O'rings de NBR, puede observarse que hay una marcada absorción en las primeras etapas del ensayo, seguida por una estabilización. Es posible apreciar que se logró un equilibrio en la absorción solamente para los cortes más bajos de biodiesel (B7,5 y B15). En todos los casos se pudo observar una disminución de peso en el rango de las 500 hs, atribuibles a la migración de componentes livianos.

- Los ensayos mecánicos de los O'rings de NBR muestran que no se produce una pérdida significativa de propiedades mecánicas tanto en resistencia como en elongación a la rotura para cortes inferiores a B50.

- Tanto los o'rings de vitón verdes como los marrones, presentaron mejor compatibilidad en cuanto a solubilidad, que los fabricados a partir de NBR. La variación de peso al final de los ensayos de inmersión resultó insignificante, y estuvo en torno al 1,6% en el peor de los casos.

- Los ensayos mecánicos de los O'rings de vitón muestran que no se produce una variación significativa de resistencia entre las probetas expuestas a los distintos cortes de biodiesel y las inmersas en diésel (B10). Sí se aprecia una leve disminución para todos los casos en la resistencia frente a las muestras vírgenes. Respecto de la elongación a la rotura, a pesar de no determinarse una tendencia clara en función del corte de biodiesel, se concluye que la misma no se ve afectada por la concentración de biodiesel.

Probetas del tanque de combustible

- Las probetas de polietileno de alta densidad presentaron menor tasa de absorción de combustible hacia los cortes superiores de biodiesel. En este sentido, el diésel resulta tener un poder solvente superior que los combustibles a base de aceites vegetales. Por otro lado, en ningún caso la tendencia de absorción alcanzó el equilibrio al final del ensayo.

- Los ensayos mecánicos muestran que las propiedades mecánicas no se vieron afectadas en ningún caso de exposición a los distintos combustibles. La resistencia tendió a aumentar con el corte de biodiesel, mientras que la elongación a la rotura prácticamente se mantuvo invariable.

Aceite lubricante

A partir de los resultados obtenidos en los análisis del aceite lubricante, se puede establecer que el uso de biodiesel en corte B50 afecta a las propiedades físico-químicas de la siguiente forma:

- La viscosidad en un primer momento tiende a bajar y luego se incrementa, esto se debe al pasaje de combustible hacia el cárter, provocando la dilución del aceite y por ende la disminución de la viscosidad. A partir del funcionamiento del motor, el aceite se ve sometido a altas temperaturas, y luego de un tiempo se evapora parte del gasoil, de tal manera que se concentra la cantidad de biocombustible. Provocando que el biodiesel sea menos fluido y más viscoso que el gasoil, por lo que el lubricante se espesa. Debido a este efecto, la viscosidad de la mezcla de lubricante y combustible aumenta, mientras que el desgaste de los cojinetes se puede acelerar en gran medida.

- El índice de viscosidad arroja valores por encima del valor de referencia, aunque la tendencia a disminuir indica que el lubricante tendrá menos viscosidad a alta temperatura de funcionamiento y mayor en arranque en frio, lo cual no es beneficioso para el motor.

- Los valores de densidad no se ven afectados durante el tiempo de funcionamiento analizado, dado que no presentan grandes variaciones con respecto al valor inicial. La oxidación del lubricante se expresa con un aumento en la densidad del mismo. Para el caso en estudio se puede establecer que la presencia de biodiesel (B50) en el combustible no oxidó al lubricante, ya que no se manifestaron cambios en la densidad.

- El análisis de Agua por destilación, indica que se registran valores de un orden de magnitud menor con respecto al valor máximo de referencia.

- El punto de inflamación disminuye con el uso, se fundamenta en la dilución del aceite con combustible. Esta dilución debilita las fuerzas de Van der Waal`s de los enlaces de la molécula de lubricante facilitando la vaporización del mismo.

Con respecto a los materiales metálicos, según la bibliografía analizada y la inspección visual luego de desarmar el motor ensayado se establece que el uso del biodiesel no afecta tribológicamente al motor.

Esta página se deja en blanco

CAPÍTULO 7

Bibliografía

[1] Lei Zhu, C.S. Cheung, W.G. Zhang, Zhen Huang. Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends. Fuel 90 (2011) 1743–1750.

[2] S.J. Clark, L. Wagner, M.D. Schrock, and P.G. Piennar, Agricultural Engineering Department, Kansas State University, Manhattan, KS 66506. Methyl and Ethyl Soybean Esters as Renewable Fuels for Diesel Engines.

[3] Terry B, McCormick RL, Natarajan M. Impact of biodiesel blends on fuel system component durability. SAE Technical Paper No. 2006-01-3279; 2006.

[4] Rakel Herrero, Iñaki Maiza, Cemitec (Centro Multidisciplinar de Innovación y Tecnología de Navarra). Fundación Cetena. Influencia de los biocombustibles sobre materiales plásticos empleados en automoción.

[5] Lei Zhu, C.S. Cheung, W.G. Zhang, Zhen Huang. Compatibility of different biodiesel composition with acrylonitrile butadiene rubber (NBR). Fuel 158 (2015) 288–292.

[6] Frame E, McCormick RL. Elastomer compatibility testing of renewable diesel fuels. Technical Report NREL/TP: 2005; 540-38834.

[7] A.S.M.A. Haseeb, M.A. Fazal, M.I. Jahirul, H.H. Masjuki. Compatibility of automotive materials in biodiesel: A review. Fuel 90 (2011) 922–93.

[8] Ley 26.093. Resolución 660/2015. Ministerio de Energía y Minería.

[9] Sedan J, Cámbrica V, Duffield J, Garboski M, Shapouri H. An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. A report by US Department of Agriculture and Energy; 1998. p. 1–35.

[10] Cadenas A, Cabezudo S. Biofuels as sustainable technologies: Perspectives for less developed countries. Technol Forecasting Soc Change 1998; 58:83–103.

[11] Arturo Romero Salvador: Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. Vol. 104, N°2, pág. 331-345, 2010.

[12] G. Knothe, J. V. Gerpen, J. Krahl. The Biodiesel Handbook. AOCS Publication; 2005.

[13] El biodiesel: la historia detrás de la moda. Nancy E. López Ramírez / Itzel De los santos Reyes / Artemio de Jesús Jiménez Díaz / Rodolfo Palacios-Silva.

[14] Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.

[15] Anjana Srivastava, Ram Prasad. Triglycerides-based diesel fuels. Department of Chemical Engineering, H. B. Technological Institute, Kanpur, 208002, India. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 4 (2000) 111-133.

[16] Balat M. Production of biodiesel from vegetable oils: a survey. Energy Sources Part A 2007; 29: 895–913.

[17] Amish P. Vyas, Jaswant L. Verma, N. Subrahmanyam. A review on FAME production processes. Fuel 89 (2010) 1–9.

[18] A. W. Schwab, M. 0. Bagby and B. Freedman. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. Northern Regional Research Center, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, Peoria, IL 61604, USA (Received 5 January 1987; revised 25 February 1987).

[19] Alves S.M., Mello V.S., Medeiros J.S. Palm and soybean biodiesel compatibility with fuel system elastomers. Mechanical Engineering Department, Laboratory of Tribology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil. Received 25 July 2012. Received in revised form 6 March 2013. Accepted 27 March 2013.

[20] Fernando S, Karra P, Hernande R, Kumar SJ. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. Energy 2007; 32:844–51.

[21] The biodiesel plant development handbook—executive summary. Agricultural utilization research and Minnesota soybean research and Promotion concia.

[22] Aliseda Montero, Rodrigo. Estudio de la transesterificación de aceite vegetal con metanol. Trabajo fin de carrera. Universidad Rey Juan Carlos.

[23] L.C. Meher, D. Vidya Sagar, S.N. Naik. Technical aspects of biodiesel production by Transesterification - a review. Centre for Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi 110016, India. Received 17 February 2004; accepted 15 September 2004.

[24] www.biodisol.com. Energías alternativas, energías renovables, energías limpias, bioenergías. Biodiesel. Materias primas para su producción.

[25] Carlos A. Querini. Biodiesel: Producción y control de calidad. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE) – (Facultad de Ing. Química-UNL, CONICET) – Santiago del Estero 2654 - (3000) Santa Fe.

[26] R. Rozemberg, D. Saslavsky, G. Svarzman: La industria de biocombustibles en Argentina. 2009.

[27] https://www.astm.org.

[28] G. Knothe, J. Krahl, J. V. Gerpen. The Biodiesel Handbook 2nd edition, AOCS Publication; 2010.

[29] Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Manual Técnico de Uso de Biocarburantes en Motores de Automoción.

[30] Apunte de Cátedra METALURGIA APLICADA Y MATERIALES. Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Año 2012.

[31] ASTM D1418-17: Standard Practice for Rubber and Rubber Latices – Nomenclature.

[32] Solórzano B. Carlos Adrián. Estudio de compatibilidad de elastómeros empleados en bombas de cavidades progresivas con crudo. 13 de octubre, 2010.

[33] http://www.erica.es/web/viton.

[34] https://jiorings.com/productos/juntas-toricas-fpm-viton.

[35] Chandrasekaran, V.C. Rubber Seals for Fluids and Hydraulic Systems. Oxford 2010.

[36] P.J. Rae, D.M. Dattelbaum. The properties of poly(tetrafluoroethylene) (PTFE) in Compression. Available online 15 September 2004.

[37] C. A. Sperati, H. W. Starkweather Jr. Fluorine-Containing Polymers. II. Politetrafluoroethylene. Adv Polym Sci 1961; 2:465–95.

[38] D. Juárez, R. Balart, S. Ferrándiz, D. García. Study and analysis of polymers styrene-butadiene derivatives. Publicación: 19-02-2013.

[39] Iván E. R. Girón. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Septiembre de 2005.

[40] Marcos Coronado, Gisela Montero, Benjamín Valdez a, Margarita Stoytcheva, Amir Eliezer, Conrado García, Héctor Campbell, Armando Pérez. Degradation of nitrile rubber fuel hose by biodiesel use. Received in revised form 19 February 2014. Accepted 22 February 2014.

[41] Ernesto C. Zuleta, Luis A. Ríos, Jorge A. Calderón. Estudio de la estabilidad oxidativa de biodiesel de aceite de palma en contacto con materiales metálicos y poliméricos automotrices. Recibido: Noviembre 8 de 2011- Aceptado: Noviembre 19 de 2012.

[42] John A. Hiltz, Richard M. Morchat and Irvin A. Keough. A DMAT study of the fue resistance of elastomers. Received 23 November 1992; accepted 19 April 1993.

[43] Shivaputrappa B. Harogoppad and Tejraj M. Aminabhavi. Interactions of substituted benzenes with elastomers. (Received 14 January 1990; revised I May 1990, accepted 11 May 1990).

[44] S. Akhlaghi, M.S. Hedenqvist, M.T. Conde Braña, M. Bellander, U.W. Gedde. Deterioration of acrylonitrile butadiene rubber in rapeseed biodiesel. Received 7 November 2014. Accepted 24 November 2014.

[45] Hendricks JB, Cram DJ, Hammond GS, Hunt JM. Background: biodiesel and other biofuels. Department of Energy and National Renewable Energy Lab. SAE J1681; 2008.

[46] Pekcan O, Ugur S. Molecular weight effect on polymer dissolution: a steady state fluorescence study. Polymer 2002; 43:1937e41.

[47] Zhang H, Cloud A. Research progress in calenderable fluorosilicone with excellent fuel resistance, arlon silicone technologies division. SAMPE; 2007.

[48] Raitis Rudbahs, Ruslans Smigins. Experimental Research on biodiesel compatibility with fuel system elastomers. Engineering for rural development. Jelgava, 29.-30.05.2014.

[49] A.S.M.A. Haseeb, H.H. Masjuki, C.T. Siang, M.A. Fazal. Compatibility of elastomers in palm biodiesel. Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia. Received 24 October 2009. Accepted 14 March 2010.

[50] Hansen CM. Hansen solubility parameters: a user's handbook. 2nd ed. Boca Raton: CRC; 2007.

[51] Bessee GB, Fey JP. Soc. Automotive Eng. Technical Paper No. 1997-971690.

[52] Thomas EW, Fuller RE, Terauchi K. Fluoroelastomer compatibility with biodiesel fuels. SAE Technical Paper No. 2007-01-4061.

[53] M. M. Maru, M. M. Lucchese, C. Legnani, W. G. Quirino, A. Balbo, I. B. Aranha, L. T. Costa, C. Vilani, L. Á. de Sena, J. C. Damasceno, Talita dos Santos Cruz, L. Reis Lidízio, Rui Ferreira e Silva, A. Jorio, C. A. Achete. Biodiesel compatibility with carbon steel and HDPE parts. Accepted 12 May 2009.

[54] CLARK, S.J., WAGNER, L., SCHROCK, M.D. & PIENNAR, P.G., «Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines". JAOCS, Vol. 61, Nº 10 (October, 1984), p. 16.32. Presentado en la reunión anual de la American Oil Chemists Society (AOCS), Chicago, Mayo de 1983.

[55] PISCHINGER, G., SIEKMAN, R., FALCON, A., FERNÁNDEZ, F., «Methylesters of plant oils as diesel fuels, either straight or in blends». «Vegetable oil fuels». Proceedings of the International. Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels. August, 1982, Holiday Inn Fargo, North Dakota. American Society of Agricultural Engineers (ASAE publication 4-82). P 198-208.

[56] SCHÄFER, ANSGAR, «The use of biofuel in modern diesel engines». Proceedings of PORIM BIOFUEL '95. PORIM International Biofuel Conference, 1995, p. 61.

[57] CHOO, Y., MA, AH-NGAN, BARISON, YUSOF, «Production and evaluation of palm oil methyl ester as diesel substitute». Proceedings of PORIM BIOFUEL '95. PORIM International Biofuel.

[58] SCHUMACHER, L.G., PETERSON, C. & GERPEN, J., «Engine oil analysis of diesel engines fueled with biodiesel blends». Annual International Meeting Sponsored by ASAE. ASAE paper Nº 01-6053. 2001.

[59] TICKELL JOSHUA, «From the fryer to the fuel tank, The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel». Published by Tickell Energy Consulting. United States of America. 2000.

[60] STAAT, FREDERIC, GATAU & PAUL, «The effects of rapeseed oil methyl ester on diesel engine performance, exhaust emissions and long-term behavior - a summary of three years of experimentation». SAE paper Nº 950053, 1995.

[61] ROMING, CLAUDE, «Exhaust emissions and engine performance from the use of soya metilester blended with ARB#2 diesel in a 6V92TA MUI engine». Proceedings of PORIM BIOFUEL '95. PORIM International Biofuel Conference. 1995, p 121-135.

[62] MASJUKI, H,. ZAKI, A.M. & SAPUAN, S.M., «A rapid test to measure performance, emissions and wear of a diesel engine fueled with palm oil diesel». JAOCS, Vol. 70, Nº 10. October, 1993, p 1021.

[63] SERDARI, A., FRAGROUDIKIS, K., TEAS, C., SAKELLAROPOULOS, F., ZANNIKOS, F., STOURNAS, S. & LOIS, E., «Adding biodiesel corn oil and sunflower oil to diesel fuel: The impact on the performance of conventional road vehicles». Joural of the Institute of Energy, Vol. 71, Nº 488, 1998, p. 126.

[64] TINAUT, F., MELGAR, A., BRICEÑO, YOLANDA & CASTAÑO, V., «Comportamiento del estermetílico de girasol como combustible en motores diésel». Universidad de Valladolid. Parque Tecnológico de Boecillo, 1998.

[65] Avinash Kumar Agarwal. "Lubricating Oil Tribology of a Biodiesel-Fuelled Compression Ignition Engine", IIT Kanpur, India 2003 Fall Technical Conference, ASME Internal Combustion Engine Division and Rail Transportation Division, Erie, Pennsylvania, USA, Septiembre, 2003.

[66] Ciancio, Antonio. La lubricación en los tiempos del biodiesel. Móvil Industrial lubricantes.

[66] L. G. Shumacher. Engine Oil Analysis of Diesel Engines Fueled with Biodiesel Blends. Asae meeting Presentation. USA, agosto 2001.

[67] Jesús Rafael Pérez Moreno. Descripción de los efectos del biodiesel en las propiedades fisicoquímicas de los lubricantes. Universidad de oriente Núcleo Anzoategui. Noviembre 2011.

[68] www.noria.mx/lublearn

[69] www.blog.total.es. Dilución de combustibles por Biodiesel. Junio 2016.

[70] A. H. U. Torres, J. R. M. d'Almeida, and J. P Habas. Aging of HDPE Pipes Exposed to Diesel Lubricant. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 50: 1594–1599, 2011.

[71] A.S.M.A Haseeb, T.S. Jun, M.A. Fazal, H.H. Masjuki. Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. Accepted 12 December 2010. Energy 36 (2011) 1814-1819.

[72] S. Mitra, A. Ghanbari-Siahkali, P. Kingshott, H. K. Rehmeier, H. Abildgaard, K. Almdal. Chemical degradation of crosslinked ethylene-propylene-diene rubber in an acidic environment. Part I. Effect on accelerated sulphur crosslinks. Accepted 28 April 2005. Polymer Degradation and Stability 91 (2006) 69-80.

[73] A.S.M.A. Haseeb, T.S. Jun, M.A. Fazal, H.H. Masjuki. Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. Accepted 12 December 2010. Energy 36 (2011) 1814-1819.

[74] Knothe G, Steidley KR. Lubricity of components of biodiesel and petrodiesel. The origin of biodiesel lubricity. Energy Fuels 2005; 19:1192–200.

[75] Patir N, Cheng HS. An average flow model for determining effects of threedimensional roughness on partial hydrodynamics lubrication. J Lubr Technol. 1978; 100:12-7.

[76] S. Etienne, C. Stochmil, J.L. Besse`de. Dielectric properties of polymer-based microheterogeneous insulator. Journal of Alloys and Compounds 310 (2000) 368–373.

[77] Hofman W. Rubber technology handbook. Munich: Hanser; 2001.

[78] F. N. Linhares, H. L. Corrêa, C. N. Khalil, M. C. A. M. Leite, C. R. Guimarães Furtado. Study of the compatibility of nitrile rubber with Brazilian biodiesel. Accepted 18 October 2012. Energy 49 (2013) 102-106.

[79] Tan J, Chao YJ, Wang H, Gong J, Zee JWV. Chemical and mechanical stability of EPDM in a PEM fuel cell environment. Polymer Degradation and Stability. 2009; 94:2072-8.

[80] G. R. Hamed. Effect of crosslink density on the critical flaw size of a simple elastomer. Institute of Polymer Science, Univesity of Akron. Ohio. Received September 27, 1982.

[81] Lawrence E. Nielsen. Cross-Linking–Effect on Physical Properties of Polymers. Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. Version of record first published: 10 Mar 2008.

Anexos

Anexo A: Resultados pesaje de probetas

- Mangueras blancas.
  Material: Politetrafluoroetileno – teflón (PTFE)

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B10						B10					
					1B	2B	3B	4B	Promedio B	Desviación estándar	1B	2B	3B	4B	Promedio B	Desviacion estandar
8	4	15	0	0	3,7423	3,8489	3,6893	3,7938	3,7686	0,0685	0	0	0	0	0	0
9	4	15	1	24	3,7669	3,8853	3,7118	3,8188	3,7957	0,0740	0,6573	0,9457	0,6099	0,6590	0,7180	0,1535
10	4	15	2	48	3,777	3,883	3,7194	3,8275	3,8017	0,0699	0,9272	0,8860	0,8159	0,8883	0,8793	0,0464
13	4	15	3	120	3,7637	3,8784	3,7174	3,8281	3,7969	0,0708	0,5718	0,7665	0,7617	0,9041	0,7510	0,1365
15	4	15	4	168	3,7748	3,881	3,722	3,8267	3,8011	0,0683	0,8684	0,8340	0,8863	0,8672	0,8640	0,0218
17	4	15	5	216	3,7692	3,8749	3,7119	3,8235	3,7949	0,0702	0,7188	0,6755	0,6126	0,7829	0,6974	0,0717
21	4	15	6	312	3,7698	3,8858	3,7153	3,8263	3,7993	0,0733	0,7348	0,9587	0,7047	0,8567	0,8137	0,1169
29	4	15	7	504	3,7711	3,8836	3,7133	3,8178	3,7965	0,0721	0,7696	0,9016	0,6505	0,6326	0,7386	0,1245
6	5	15	8	672	3,7725	3,8811	3,719	3,8198	3,7981	0,0690	0,8070	0,8366	0,8050	0,6853	0,7835	0,0670
19	5	15	9	984	3,7723	3,8791	3,7226	3,8267	3,8002	0,0676	0,8016	0,7846	0,9026	0,8672	0,8390	0,0554
28	5	15	10	1200	3,784	3,8772	3,7238	3,8228	3,8020	0,0646	1,1143	0,7353	0,9351	0,7644	0,8873	0,1751
4	6	15	11	1368	3,7754	3,8829	3,7262	3,8269	3,8029	0,0674	0,8845	0,8834	1,0002	0,8725	0,9101	0,0603
17	6	15	12	1680	3,7608	3,8689	3,7123	3,8098	3,7880	0,0671	0,4943	0,5196	0,6234	0,4217	0,5148	0,0835
30	6	15	13	1992	3,7611	3,8727	3,7181	3,8122	3,7910	0,0667	0,5024	0,6184	0,7806	0,4850	0,5966	0,1362
13	7	15	14	2304	3,7505	3,8695	3,7108	3,8161	3,7867	0,0702	0,2191	0,5352	0,5828	0,5878	0,4812	0,1763
18	8	15	15	3168	3,7694	3,8728	3,7132	3,817	3,7931	0,0680	0,7242	0,6210	0,6478	0,6115	0,6511	0,0511
2	10	15	16	4248	3,7491	3,8525	3,6924	3,8014	3,7739	0,0688	0,1817	0,0935	0,0840	0,2003	0,1399	0,0596

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B25						B25					
					5B	6B	7B	8B	Promedio B	Desviación estándar	5B	6B	7B	8B	Promedio B	Desviaión estándar
8	4	15	0	0	3,8258	3,8242	3,7393	3,8096	3,7997	0,0409	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	3,8565	3,852	3,7758	3,8415	3,8315	0,0376	0,8024	0,7269	0,9761	0,8374	0,8357	0,1043
10	4	15	2	48	3,8753	3,8693	3,7917	3,8732	3,8524	0,0405	1,2938	1,1793	1,4013	1,6695	1,3860	0,2096
13	4	15	3	120	3,8871	3,8762	3,7826	3,8526	3,8496	0,0469	1,6023	1,3598	1,1580	1,1287	1,3122	0,2190
15	4	15	4	168	3,8769	3,864	3,7806	3,8503	3,8430	0,0430	1,3357	1,0407	1,1045	1,0684	1,1373	0,1348
17	4	15	5	216	3,8629	3,8626	3,7783	3,849	3,8382	0,0405	0,9697	1,0041	1,0430	1,0342	1,0128	0,0332
21	4	15	6	312	3,8615	3,8619	3,7768	3,8475	3,8369	0,0406	0,9331	0,9858	1,0029	0,9949	0,9792	0,0315
29	4	15	7	504	3,8612	3,8667	3,7865	3,8444	3,8397	0,0367	0,9253	1,1113	1,2623	0,9135	1,0531	0,1663
6	5	15	8	672	3,8605	3,8575	3,7737	3,8428	3,8336	0,0407	0,9070	0,8708	0,9200	0,8715	0,8923	0,0250
19	5	15	9	984	3,8585	3,857	3,7779	3,8402	3,8334	0,0379	0,8547	0,8577	1,0323	0,8032	0,8870	0,1000
28	5	15	10	1200	3,8878	3,8778	3,7951	3,8799	3,8602	0,0436	1,6206	1,4016	1,4923	1,8453	1,5899	0,1925
4	6	15	11	1368	3,8654	3,8596	3,7857	3,853	3,8409	0,0372	1,0351	0,9257	1,2409	1,1392	1,0852	0,1355
17	6	15	12	1680	3,8524	3,8477	3,7724	3,8427	3,8288	0,0378	0,6953	0,6145	0,8852	0,8689	0,7660	0,1326
30	6	15	13	1992	3,8499	3,8449	3,7701	3,8269	3,8230	0,0366	0,6299	0,5413	0,8237	0,4541	0,6123	0,1582
13	7	15	14	2304	3,841	3,839	3,7496	3,8214	3,8128	0,0430	0,3973	0,3870	0,2755	0,3097	0,3424	0,0593
18	8	15	15	3168	3,8517	3,8444	3,7685	3,837	3,8254	0,0384	0,6770	0,5282	0,7809	0,7192	0,6763	0,1076
2	10	15	16	4248	3,8269	3,8232	3,7552	3,8181	3,8059	0,0340	0,0288	-0,0261	0,4252	0,2231	0,1627	0,2051

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B50						B50					
					9B	10B	11B	12B	Promedio B	Desviación estándar	9B	10B	11B	12B	Promedio B	Desviación estándar
8	4	15	0	0	3,8115	3,8271	3,7501	3,819	3,8019	0,0351	0	0	0	0	0	0
9	4	15	1	24	3,8426	3,869	3,7891	3,8545	3,8388	0,0348	0,8160	1,0948	1,0400	0,9296	0,9701	0,1236
10	4	15	2	48	3,8681	3,8923	3,8005	3,8728	3,8584	0,0400	1,4850	1,7036	1,3440	1,4087	1,4853	0,1565
13	4	15	3	120	3,8848	3,895	3,8148	3,8841	3,8697	0,0369	1,9231	1,7742	1,7253	1,7046	1,7818	0,0986
15	4	15	4	168	3,8726	3,8829	3,8078	3,8829	3,8616	0,0362	1,6030	1,4580	1,5386	1,6732	1,5682	0,0918
17	4	15	5	216	3,8733	3,8931	3,8118	3,8863	3,8661	0,0371	1,6214	1,7245	1,6453	1,7622	1,6884	0,0661
21	4	15	6	312	3,8527	3,8797	3,8098	3,8745	3,8542	0,0318	1,0809	1,3744	1,5920	1,4533	1,3751	0,2158
29	4	15	7	504	3,8846	3,8835	3,8034	3,8644	3,8590	0,0382	1,9179	1,4737	1,4213	1,1888	1,5004	0,3046
6	5	15	8	672	3,8734	3,8725	3,7937	3,8526	3,8481	0,0375	1,6240	1,1863	1,1626	0,8798	1,2132	0,3073
19	5	15	9	984	3,8706	3,872	3,8064	3,8563	3,8513	0,0308	1,5506	1,1732	1,5013	0,9767	1,3004	0,2732
28	5	15	10	1200	3,871	3,8774	3,7987	3,8661	3,8533	0,0367	1,5611	1,3143	1,2960	1,2333	1,3512	0,1442
4	6	15	11	1368	3,8714	3,8746	3,7946	3,8535	3,8485	0,0371	1,5716	1,2411	1,1866	0,9034	1,2257	0,2740
17	6	15	12	1680	3,8511	3,8507	3,7742	3,8345	3,8276	0,0364	1,0390	0,6167	0,6426	0,4059	0,6760	0,2642
30	6	15	13	1992	3,8421	3,8436	3,7662	3,8276	3,8199	0,0365	0,8028	0,4311	0,4293	0,2252	0,4721	0,2407
13	7	15	14	2304	3,8397	3,8429	3,7774	3,8281	3,8220	0,0304	0,7399	0,4128	0,7280	0,2383	0,5297	0,2463
18	8	15	15	3168	3,8587	3,8621	3,7796	3,8431	3,8359	0,0384	1,2384	0,9145	0,7866	0,6311	0,8926	0,2580
2	10	15	16	4248	3,8308	3,8412	3,7659	3,8218	3,8149	0,0336	0,5064	0,3684	0,4213	0,0733	0,3424	0,1881

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B75						B75					
					13B	14B	15B	16B	Promedio B	Desviación estándar	13B	14B	15B	16B	Promedio B	Desviación estándar
8	4	15	0	0	3,8321	3,7912	3,8222	3,8212	3,8167	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	4	15	1	24	3,8821	3,8345	3,8648	3,8644	3,8615	0,020	1,305	1,142	1,115	1,131	1,173	0,089
10	4	15	2	48	3,9092	3,8523	3,9121	3,8928	3,8916	0,028	2,012	1,612	2,352	1,874	1,962	0,308
13	4	15	3	120	3,9198	3,8696	3,9061	3,9128	3,9021	0,022	2,289	2,068	2,195	2,397	2,237	0,140
15	4	15	4	168	3,9193	3,8599	3,9162	3,8938	3,8973	0,027	2,276	1,812	2,459	1,900	2,112	0,307
17	4	15	5	216	3,9087	3,8611	3,8957	3,8994	3,8912	0,021	1,999	1,844	1,923	2,046	1,953	0,089
21	4	15	6	312	3,889	3,8479	3,8778	3,8822	3,8742	0,018	1,485	1,496	1,455	1,596	1,508	0,061
29	4	15	7	504	3,8802	3,8335	3,8707	3,8691	3,8634	0,021	1,255	1,116	1,269	1,254	1,223	0,072
6	5	15	8	672	3,8671	3,8294	3,8656	3,8637	3,8565	0,018	0,913	1,008	1,135	1,112	1,042	0,102
19	5	15	9	984	3,8725	3,8253	3,8617	3,8602	3,8549	0,020	1,054	0,899	1,033	1,021	1,002	0,070
28	5	15	10	1200	3,8888	3,8383	3,8845	3,8666	3,8696	0,023	1,480	1,242	1,630	1,188	1,385	0,207
4	6	15	11	1368	3,8779	3,8323	3,8689	3,8633	3,8606	0,020	1,195	1,084	1,222	1,102	1,151	0,068
17	6	15	12	1680	3,8521	3,811	3,8474	3,8421	3,8382	0,019	0,522	0,522	0,659	0,547	0,563	0,066
30	6	15	13	1992	3,8515	3,8067	3,8427	3,8324	3,8333	0,019	0,506	0,409	0,536	0,293	0,436	0,110
13	7	15	14	2304	3,8457	3,8006	3,8303	3,8399	3,8291	0,020	0,355	0,248	0,212	0,489	0,326	0,125
18	8	15	15	3168	3,8553	3,826	3,8516	3,8566	3,8474	0,014	0,605	0,918	0,769	0,926	0,805	0,151
2	10	15	16	4248	3,8486	3,7898	3,8204	3,8229	3,8204	0,024	0,431	-0,037	-0,047	0,044	0,098	0,226

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B100						B100					
					17B	18B	19B	20B	Promedio B	Desviación estándar	17B	18B	19B	20B	Promedio B	Desviación estándar
8	4	15	0	0	3,8646	3,8058	3,862	3,7817	3,8285	0,0414	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	3,9104	3,8516	3,9136	3,836	3,8779	0,0399	1,1851	1,2034	1,3361	1,4359	1,2901	0,1182
10	4	15	2	48	3,9267	3,8728	3,9284	3,8503	3,8946	0,0392	1,6069	1,7605	1,7193	1,8140	1,7252	0,0879
13	4	15	3	120	3,9675	3,9097	3,9591	3,8914	3,9319	0,0371	2,6626	2,7300	2,5142	2,9008	2,7019	0,1603
15	4	15	4	168	3,9445	3,8912	3,9561	3,8686	3,9151	0,0419	2,0675	2,2439	2,4366	2,2979	2,2615	0,1527
17	4	15	5	216	3,9504	3,8911	3,9516	3,8794	3,9181	0,0383	2,2202	2,2413	2,3200	2,5835	2,3413	0,1671
21	4	15	6	312	3,932	3,8763	3,9372	3,8544	3,9000	0,0410	1,7440	1,8524	1,9472	1,9224	1,8665	0,0910
29	4	15	7	504	3,9231	3,8699	3,9094	3,8433	3,8864	0,0365	1,5137	1,6843	1,2273	1,6289	1,5136	0,2036
6	5	15	8	672	3,9069	3,8659	3,9099	3,8205	3,8758	0,0420	1,0946	1,5792	1,2403	1,0260	1,2350	0,2462
19	5	15	9	984	3,9176	3,857	3,8955	3,8281	3,8746	0,0398	1,3714	1,3453	0,8674	1,2270	1,2028	0,2322
28	5	15	10	1200	3,907	3,9267	3,852	3,8213	3,8768	0,0486	1,0971	3,1767	-0,2589	1,0471	1,2655	1,4204
4	6	15	11	1368	3,9106	3,84	3,9094	3,8265	3,8716	0,0447	1,1903	0,8986	1,2273	1,1847	1,1252	0,1522
17	6	15	12	1680	3,894	3,8243	3,8944	3,8107	3,8559	0,0446	0,7608	0,4861	0,8389	0,7669	0,7132	0,1555
30	6	15	13	1992	3,876	3,8178	3,8769	3,8004	3,8428	0,0395	0,2950	0,3153	0,3858	0,4945	0,3726	0,0901
13	7	15	14	2304	3,8696	3,8134	3,8712	3,8075	3,8404	0,0347	0,1294	0,1997	0,2382	0,6822	0,3124	0,2507
18	8	15	15	3168	3,8826	3,8284	3,8952	3,8081	3,8536	0,0419	0,4658	0,5938	0,8597	0,6981	0,6543	0,1666
2	10	15	16	4248	3,8702	3,8009	3,8586	3,796	3,8314	0,0384	0,1449	-0,1288	-0,0880	0,3781	0,0766	0,2344

- Mangueras negras.
  Material: Tela de poliéster

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B10						B10					
					1N	2N	3N	4N	Promedio N	Desviación estándar	1N	2N	3N	4N	Promedio N	Desviación estándar
8	4	15	0	0	13,3749	13,1186	13,3944	13,1512	13,2598	0,1450	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	13,5452	13,2863	13,5657	13,3175	13,4287	0,1472	1,2733	1,2783	1,2789	1,2645	1,2738	0,0067
10	4	15	2	48	13,6311	13,3684	13,6501	13,4002	13,5125	0,1487	1,9155	1,9042	1,9090	1,8934	1,9055	0,0093
13	4	15	3	120	13,7786	13,5119	13,795	13,5503	13,6590	0,1486	3,0183	2,9980	2,9908	3,0347	3,0105	0,0199
15	4	15	4	168	13,8479	13,5819	13,8685	13,6203	13,7297	0,1495	3,5365	3,5316	3,5395	3,5670	3,5437	0,0159
17	4	15	5	216	13,8935	13,6293	13,916	13,6647	13,7759	0,1498	3,8774	3,8929	3,8942	3,9046	3,8923	0,0112
21	4	15	6	312	13,9445	13,6801	13,9647	13,714	13,8258	0,1496	4,2587	4,2802	4,2577	4,2795	4,2690	0,0125
29	4	15	7	504	13,9777	13,7098	13,9978	13,7528	13,8595	0,1493	4,5069	4,5066	4,5049	4,5745	4,5232	0,0342
6	5	15	8	672	13,9751	13,713	13,9993	13,746	13,8584	0,1497	4,4875	4,5310	4,5161	4,5228	4,5143	0,0189
19	5	15	9	984	13,975	13,7039	13,9946	13,7396	13,8533	0,1528	4,4868	4,4616	4,4810	4,4741	4,4759	0,0108
28	5	15	10	1200	13,9388	13,6616	13,9512	13,698	13,8124	0,1539	4,2161	4,1392	4,1570	4,1578	4,1675	0,0335
4	6	15	11	1368	13,9266	13,6561	13,9473	13,6974	13,8069	0,1514	4,1249	4,0972	4,1278	4,1532	4,1258	0,0229
17	6	15	12	1680	13,9081	13,6399	13,9267	13,6799	13,7887	0,1498	3,9866	3,9737	3,9740	4,0202	3,9886	0,0219
30	6	15	13	1992	13,8997	13,6412	13,9199	13,6838	13,7862	0,1441	3,9238	3,9837	3,9233	4,0498	3,9701	0,0602
13	7	15	14	2304	13,9246	13,6497	13,9403	13,6958	13,8026	0,1513	4,1099	4,0485	4,0756	4,1411	4,0938	0,0403
18	8	15	15	3168	13,9549	13,6714	13,959	13,7256	13,8277	0,1509	4,3365	4,2139	4,2152	4,3677	4,2833	0,0804
2	10	15	16	4248	13,9766	13,7046	13,9944	13,7611	13,8592	0,1479	4,4987	4,4669	4,4795	4,6376	4,5207	0,0790

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B25						B25					
					5N	6N	7N	8N	Promedio N	Desviación estándar	5N	6N	7N	8N	Promedio N	Desviación estándar
8	4	15	0	0	13,2913	13,3021	13,2307	13,3283	13,2881	0,0413	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	13,5051	13,5214	13,4511	13,5471	13,5062	0,0406	1,6086	1,6486	1,6658	1,6416	1,6412	0,0240
10	4	15	2	48	13,6204	13,632	13,5599	13,659	13,6178	0,0419	2,4761	2,4801	2,4882	2,4812	2,4814	0,0050
13	4	15	3	120	13,8082	13,817	13,7487	13,8524	13,8066	0,0431	3,8890	3,8708	3,9151	3,9322	3,9018	0,0272
15	4	15	4	168	13,8961	13,8997	13,8291	13,9332	13,8895	0,0436	4,5503	4,4925	4,5228	4,5385	4,5260	0,0250
17	4	15	5	216	13,9375	13,9524	13,8883	13,9846	13,9407	0,0401	4,8618	4,8887	4,9703	4,9241	4,9112	0,0469
21	4	15	6	312	13,9975	14,0036	13,9336	14,0837	14,0046	0,0615	5,3133	5,2736	5,3126	5,6676	5,3918	0,1848
29	4	15	7	504	14,0236	14,0343	14,0499	14,0635	14,0428	0,0175	5,5096	5,5044	6,1917	5,5161	5,6804	0,3408
6	5	15	8	672	14,0116	14,0191	14,0472	14,0542	14,0330	0,0208	5,4193	5,3901	6,1713	5,4463	5,6068	0,3770
19	5	15	9	984	13,9412	13,9584	13,8836	13,9877	13,9427	0,0438	4,8897	4,9338	4,9347	4,9474	4,9264	0,0253
28	5	15	10	1200	13,9805	13,9907	13,9324	14,0252	13,9822	0,0383	5,1853	5,1766	5,3036	5,2287	5,2236	0,0580
4	6	15	11	1368	13,9703	13,9896	13,9146	14,022	13,9741	0,0451	5,1086	5,1684	5,1690	5,2047	5,1627	0,0398
17	6	15	12	1680	13,9727	13,9899	13,9169	14,023	13,9756	0,0444	5,1267	5,1706	5,1864	5,2122	5,1740	0,0359
30	6	15	13	1992	13,985	14,0004	13,9275	14,0391	13,9880	0,0463	5,2192	5,2495	5,2665	5,3330	5,2671	0,0481
13	7	15	14	2304	14,0034	14,0267	13,9405	14,0542	14,0062	0,0485	5,3576	5,4473	5,3648	5,4463	5,4040	0,0495
18	8	15	15	3168	14,0427	14,0685	13,9864	14,114	14,0529	0,0532	5,6533	5,7615	5,7117	5,8950	5,7554	0,1030
2	10	15	16	4248	14,1202	14,1307	14,0491	14,1745	14,1186	0,0520	6,2364	6,2291	6,1856	6,3489	6,2500	0,0696

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B50						B50					
					9N	10N	11N	12N	Promedio N	Desviación estándar	9N	10N	11N	12N	Promedio N	Desviación estándar
8	4	15	0	0	13,187	13,241	13,3081	13,3958	13,2830	0,0901	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	13,5094	13,5423	13,6383	13,7391	13,6073	0,1035	2,4448	2,2755	2,4812	2,5627	2,4411	0,1209
10	4	15	2	48	13,7046	13,7246	13,814	13,9206	13,7910	0,0987	3,9251	3,6523	3,8014	3,9176	3,8241	0,1278
13	4	15	3	120	13,9974	14,0055	14,1075	14,2074	14,0795	0,0989	6,1454	5,7737	6,0069	6,0586	5,9962	0,1589
15	4	15	4	168	14,1086	14,12	14,2237	14,32	14,1931	0,0992	6,9887	6,6385	6,8800	6,8992	6,8516	0,1498
17	4	15	5	216	14,1679	14,2008	14,3013	14,3949	14,2662	0,1029	7,4384	7,2487	7,4631	7,4583	7,4021	0,1028
21	4	15	6	312	14,1781	14,2484	14,3313	14,4702	14,3070	0,1255	7,5157	7,6082	7,6886	8,0204	7,7082	0,2198
29	4	15	7	504	14,2088	14,2669	14,3467	14,4627	14,3213	0,1099	7,7485	7,7479	7,8043	7,9644	7,8163	0,1022
6	5	15	8	672	14,2217	14,2707	14,3565	14,4475	14,3241	0,0994	7,8464	7,7766	7,8779	7,8510	7,8380	0,0432
19	5	15	9	984	14,2407	14,2857	14,3711	14,4706	14,3420	0,1014	7,9904	7,8899	7,9876	8,0234	7,9728	0,0576
28	5	15	10	1200	14,2793	14,3054	14,3938	14,4982	14,3692	0,0990	8,2832	8,0387	8,1582	8,2294	8,1774	0,1057
4	6	15	11	1368	14,2938	14,3188	14,4172	14,5329	14,3907	0,1088	8,3931	8,1399	8,3340	8,4885	8,3389	0,1471
17	6	15	12	1680	14,3463	14,3688	14,4612	14,5829	14,4398	0,1076	8,7912	8,5175	8,6646	8,8617	8,7088	0,1514
30	6	15	13	1992	14,4341	14,4329	14,5391	14,6513	14,5144	0,1040	9,4570	9,0016	9,2500	9,3723	9,2702	0,1982
13	7	15	14	2304	14,5192	14,4635	14,6166	14,7565	14,5890	0,1284	10,1024	9,2327	9,8324	10,1577	9,8313	0,4236
18	8	15	15	3168	14,757	14,6362	14,7249	14,9297	14,7620	0,1230	11,9057	10,5370	10,6461	11,4506	11,1348	0,6558
2	10	15	16	4248	15,0042	14,8965	15,0553	15,1915	15,0369	0,1225	13,7802	12,5028	13,1288	13,4049	13,2042	0,5384

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B75						B75					
					13N	14N	15N	16N	Promedio N	Desviación estándar	13N	14N	15N	16N	Promedio N	Desviación estándar
8	4	15	0	0	13,0362	13,2299	13,3452	13,3389	13,2376	0,1443	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	13,5151	13,7092	13,8184	13,8205	13,7158	0,1435	3,6736	3,6229	3,5458	3,6105	3,6132	0,0526
10	4	15	2	48	13,7436	13,9495	14,0708	14,0692	13,9583	0,1540	5,4264	5,4392	5,4372	5,4750	5,4444	0,0211
13	4	15	3	120	14,1641	14,3692	14,495	14,4912	14,3799	0,1553	8,6521	8,6116	8,6158	8,6386	8,6295	0,0192
15	4	15	4	168	14,3251	14,5342	14,6668	14,6618	14,5470	0,1601	9,8871	9,8587	9,9032	9,9176	9,8917	0,0252
17	4	15	5	216	14,4391	14,6361	14,7671	14,7575	14,6500	0,1527	10,7616	10,6290	10,6548	10,6351	10,6701	0,0620
21	4	15	6	312	14,4891	14,6728	14,8046	14,8207	14,6968	0,1535	11,1451	10,9064	10,9358	11,1089	11,0240	0,1204
29	4	15	7	504	14,4515	14,6698	14,7944	14,7924	14,6770	0,1612	10,8567	10,8837	10,8593	10,8967	10,8741	0,0194
6	5	15	8	672	14,4435	14,6598	14,7883	14,7812	14,6682	0,1610	10,7953	10,8081	10,8136	10,8127	10,8074	0,0084
19	5	15	9	984	14,4645	14,6785	14,7999	14,8024	14,6863	0,1588	10,9564	10,9494	10,9005	10,9717	10,9445	0,0307
28	5	15	10	1200	14,4818	14,704	14,8141	14,8214	14,7053	0,1584	11,0891	11,1422	11,0070	11,1141	11,0881	0,0583
4	6	15	11	1368	14,5071	14,7207	14,8347	14,8449	14,7269	0,1569	11,2832	11,2684	11,1613	11,2903	11,2508	0,0603
17	6	15	12	1680	14,5399	14,7565	14,8668	14,8798	14,7608	0,1573	11,5348	11,5390	11,4019	11,5519	11,5069	0,0704
30	6	15	13	1992	14,621	14,8423	14,9512	14,9523	14,8417	0,1559	12,1569	12,1875	12,0343	12,0955	12,1186	0,0680
13	7	15	14	2304	14,6882	14,887	14,9815	15,0107	14,8919	0,1457	12,6724	12,5254	12,2613	12,5333	12,4981	0,1717
18	8	15	15	3168	14,8822	15,084	15,1351	15,1866	15,0720	0,1333	14,1606	14,0145	13,4123	13,8520	13,8598	0,3239
2	10	15	16	4248	15,1743	15,3824	15,3474	15,458	15,3405	0,1200	16,4013	16,2700	15,0031	15,8866	15,8902	0,6304

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B100						B100					
					17N	18N	19N	20N	Promedio N	Desviación estándar	17N	18N	19N	20N	Promedio N	Desviación estándar
8	4	15	0	0	13,2958	13,2139	13,0928	13,1696	13,1930	0,0848	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	14,0135	13,827	13,795	13,8703	13,8765	0,0964	5,3979	4,6398	5,3633	5,3206	5,1804	0,3618
10	4	15	2	48	14,3782	14,2889	14,1567	14,2395	14,2658	0,0927	8,1409	8,1354	8,1258	8,1240	8,1315	0,0080
13	4	15	3	120	15,0355	14,9483	14,8032	14,8862	14,9183	0,0982	13,0846	13,1256	13,0637	13,0346	13,0771	0,0383
15	4	15	4	168	15,1899	15,0952	14,9638	15,0536	15,0756	0,0939	14,2459	14,2373	14,2903	14,3057	14,2698	0,0334
17	4	15	5	216	15,2893	15,1944	15,0551	15,1418	15,1702	0,0980	14,9935	14,9880	14,9876	14,9754	14,9861	0,0076
21	4	15	6	312	15,2715	15,1757	15,0319	15,1399	15,1548	0,0990	14,8596	14,8465	14,8104	14,9610	14,8694	0,0645
29	4	15	7	504	15,1542	15,0584	14,9728	15,0002	15,0464	0,0802	13,9773	13,9588	14,3590	13,9002	14,0488	0,2094
6	5	15	8	672	15,1116	15,0043	14,8758	14,9401	14,9830	0,1005	13,6569	13,5494	13,6182	13,4438	13,5671	0,0934
19	5	15	9	984	15,0989	14,9974	14,8805	14,944	14,9802	0,0924	13,5614	13,4972	13,6541	13,4735	13,5465	0,0808
28	5	15	10	1200	15,1193	15,0203	14,915	14,9634	15,0045	0,0878	13,7149	13,6705	13,9176	13,6208	13,7309	0,1302
4	6	15	11	1368	15,1509	15,0579	14,9518	14,992	15,0382	0,0870	13,9525	13,9550	14,1986	13,8379	13,9860	0,1519
17	6	15	12	1680	15,2021	15,1153	15,0163	15,0511	15,0962	0,0816	14,3376	14,3894	14,6913	14,2867	14,4262	0,1816
30	6	15	13	1992	15,3014	15,2103	15,1173	15,1575	15,1966	0,0796	15,0845	15,1083	15,4627	15,0946	15,1875	0,1837
13	7	15	14	2304	15,384	15,2945	15,1717	15,181	15,2578	0,1010	15,7057	15,7455	15,8782	15,2731	15,6506	0,2623
18	8	15	15	3168	15,5687	15,4746	15,372	15,3818	15,4493	0,0921	17,0949	17,1085	17,4080	16,7978	17,1023	0,2492
2	10	15	16	4248	15,8417	15,7301	15,6303	15,6291	15,7078	0,1010	19,1482	19,0421	19,3809	18,6756	19,0617	0,2937

- Mangueras amarillas.
  Material: Policloruro de vinilo (PVC)

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B10						B10					
					1A	2A	3A	4A	Promedio A	Desviación estándar	1A	2A	3A	4A	Promedio A	Desviación estándar
8	4	15	0	0	11,2126	11,4772	11,1517	11,4744	11,3290	0,1714	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	11,2816	11,548	11,2186	11,5462	11,3986	0,1734	0,6154	0,6169	0,5999	0,6257	0,6145	0,0107
10	4	15	2	48	11,3093	11,5791	11,2469	11,5824	11,4294	0,1766	0,8624	0,8878	0,8537	0,9412	0,8863	0,0394
13	4	15	3	120	11,3672	11,642	11,305	11,6339	11,4870	0,1761	1,3788	1,4359	1,3747	1,3901	1,3949	0,0281
15	4	15	4	168	11,3481	11,6739	11,335	11,6712	11,5071	0,1912	1,2085	1,7138	1,6437	1,7151	1,5703	0,2435
17	4	15	5	216	11,4285	11,6921	11,3534	11,6912	11,5413	0,1763	1,9255	1,8724	1,8087	1,8894	1,8740	0,0488
21	4	15	6	312	11,454	11,7324	11,3758	11,7202	11,5706	0,1827	2,1529	2,2235	2,0096	2,1422	2,1320	0,0893
29	4	15	7	504	11,5209	11,8074	11,3698	11,7973	11,6239	0,2152	2,7496	2,8770	1,9558	2,8141	2,5991	0,4320
6	5	15	8	672	11,5604	11,8318	11,492	11,8285	11,6782	0,1777	3,1019	3,0896	3,0516	3,0860	3,0823	0,0216
19	5	15	9	984	11,667	11,9392	11,5958	11,943	11,7863	0,1812	4,0526	4,0254	3,9824	4,0839	4,0360	0,0430
28	5	15	10	1200	11,6614	11,9347	11,5873	11,9301	11,7784	0,1804	4,0026	3,9862	3,9061	3,9714	3,9666	0,0423
4	6	15	11	1368	11,6652	11,933	11,5893	11,9301	11,7794	0,1784	4,0365	3,9714	3,9241	3,9714	3,9758	0,0462
17	6	15	12	1680	11,6547	11,923	11,5783	11,9211	11,7693	0,1791	3,9429	3,8842	3,8254	3,8930	3,8864	0,0482
30	6	15	13	1992	11,641	11,9104	11,5621	11,9061	11,7549	0,1800	3,8207	3,7744	3,6802	3,7623	3,7594	0,0585
13	7	15	14	2304	11,6244	11,8952	11,5527	11,8818	11,7385	0,1757	3,6727	3,6420	3,5959	3,5505	3,6153	0,0535
18	8	15	15	3168	11,5645	11,8421	11,4941	11,8288	11,6824	0,1792	3,1384	3,1793	3,0704	3,0886	3,1192	0,0493
2	10	15	16	4248	11,4605	11,736	11,3941	11,7187	11,5773	0,1755	2,2109	2,2549	2,1737	2,1291	2,1921	0,0536

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B25						B25					
					5A	6A	7A	8A	Promedio A	Desviación estándar	5A	6A	7A	8A	Promedio A	Desviación estándar
8	4	15	0	0	11,3422	11,7227	11,4963	11,2455	11,4517	0,2081	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	11,439	11,8298	11,602	11,3456	11,5541	0,2122	0,8534	0,9136	0,9194	0,8901	0,8942	0,0299
10	4	15	2	48	11,4878	11,872	11,6486	11,3938	11,6006	0,2093	1,2837	1,2736	1,3248	1,3187	1,3002	0,0254
13	4	15	3	120	11,5636	11,9535	11,7272	11,465	11,6773	0,2135	1,9520	1,9688	2,0085	1,9519	1,9703	0,0267
15	4	15	4	168	11,6158	11,9985	11,7688	11,5105	11,7234	0,2119	2,4122	2,3527	2,3703	2,3565	2,3729	0,0273
17	4	15	5	216	11,6416	12,0328	11,8003	11,5416	11,7541	0,2142	2,6397	2,6453	2,6443	2,6331	2,6406	0,0056
21	4	15	6	312	11,7042	12,0941	11,8708	11,5979	11,8168	0,2163	3,1916	3,1682	3,2576	3,1337	3,1878	0,0523
29	4	15	7	504	11,7973	12,1921	11,9928	11,7628	11,9363	0,1984	4,0124	4,0042	4,3188	4,6001	4,2339	0,2847
6	5	15	8	672	11,8431	12,243	12,0025	11,7427	11,9578	0,2181	4,4163	4,4384	4,4032	4,4213	4,4198	0,0146
19	5	15	9	984	11,855	12,2535	12,0115	11,7534	11,9684	0,2177	4,5212	4,5280	4,4814	4,5165	4,5118	0,0208
28	5	15	10	1200	11,8958	12,2814	12,0355	11,7804	11,9983	0,2157	4,8809	4,7660	4,6902	4,7566	4,7734	0,0792
4	6	15	11	1368	11,8862	12,2817	12,0359	11,7787	11,9956	0,2179	4,7962	4,7685	4,6937	4,7415	4,7500	0,0437
17	6	15	12	1680	11,8796	12,2721	12,0235	11,7687	11,9860	0,2174	4,7381	4,6866	4,5858	4,6525	4,6658	0,0638
30	6	15	13	1992	11,8461	12,2347	11,9857	11,7291	11,9489	0,2175	4,4427	4,3676	4,2570	4,3004	4,3419	0,0811
13	7	15	14	2304	11,7991	12,1846	11,9395	11,683	11,9016	0,2159	4,0283	3,9402	3,8552	3,8904	3,9285	0,0751
18	8	15	15	3168	11,6802	12,0638	11,8235	11,5617	11,7823	0,2160	2,9800	2,9097	2,8461	2,8118	2,8869	0,0742
2	10	15	16	4248	11,5168	11,8827	11,6456	11,386	11,6078	0,2117	1,5394	1,3649	1,2987	1,2494	1,3631	0,1267

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B50						B50					
					9A	10A	11A	12A	Promedio A	Desviación estándar	9A	10A	11A	12A	Promedio A	Desviación estándar
8	4	15	0	0	11,3801	11,2936	11,5417	11,1977	11,3533	0,1460	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	11,537	11,4565	11,7345	11,3496	11,5194	0,1627	1,3787	1,4424	1,6705	1,3565	1,4620	0,1436
10	4	15	2	48	11,6241	11,5341	12,8133	11,4322	11,8509	0,6464	2,1441	2,1295	11,0174	2,0942	4,3463	4,4475
13	4	15	3	120	11,7756	11,6817	11,9903	11,5875	11,7588	0,1724	3,4754	3,4365	3,8868	3,4811	3,5699	0,2122
15	4	15	4	168	11,8407	11,7686	12,0612	11,6625	11,8333	0,1687	4,0474	4,2059	4,5011	4,1509	4,2263	0,1946
17	4	15	5	216	11,9197	11,8547	12,1411	11,7465	11,9155	0,1665	4,7416	4,9683	5,1933	4,9010	4,9511	0,1874
21	4	15	6	312	12,0236	11,9746	12,2272	11,8274	12,0132	0,1652	5,6546	6,0300	5,9393	5,6235	5,8118	0,2033
29	4	15	7	504	12,1621	12,0473	12,2634	11,9621	12,1087	0,1317	6,8716	6,6737	6,2530	6,8264	6,6562	0,2818
6	5	15	8	672	12,1483	12,0452	12,3068	11,9523	12,1132	0,1519	6,7504	6,6551	6,6290	6,7389	6,6933	0,0604
19	5	15	9	984	11,9904	11,8944	12,1354	11,8133	11,9584	0,1384	5,3629	5,3198	5,1440	5,4976	5,3311	0,1459
28	5	15	10	1200	11,8646	11,7747	12,0112	11,6747	11,8313	0,1428	4,2574	4,2599	4,0679	4,2598	4,2113	0,0956
4	6	15	11	1368	11,7892	11,7016	11,938	11,5993	11,7570	0,1435	3,5949	3,6127	3,4336	3,5865	3,5569	0,0829
17	6	15	12	1680	11,648	11,5674	11,7914	11,4574	11,6161	0,1406	2,3541	2,4244	2,1635	2,3192	2,3153	0,1103
30	6	15	13	1992	11,5279	11,4697	11,6734	11,3336	11,5012	0,1408	1,2988	1,5593	1,1411	1,2136	1,3032	0,1825
13	7	15	14	2304	11,4066	11,3251	11,5546	11,2241	11,3776	0,1396	0,2329	0,2789	0,1118	0,2358	0,2148	0,0719
18	8	15	15	3168	11,2161	11,1321	11,3664	11,0364	11,1878	0,1399	-1,4411	-1,4300	-1,5188	-1,4405	-1,4576	0,0411
2	10	15	16	4248	11,0147	10,9308	11,1655	10,8356	10,9867	0,1399	-3,2109	-3,2124	-3,2595	-3,2337	-3,2291	0,0228

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B75						B75					
					13A	14A	15A	16A	Promedio A	Desviación estándar	13A	14A	15A	16A	Promedio A	Desviación estándar
8	4	15	0	0	11,3028	11,3863	11,2647	10,8701	11,2060	0,2296	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	11,5742	11,6438	11,527	11,1153	11,4651	0,2381	2,4012	2,2615	2,3285	2,2557	2,3117	0,0682
10	4	15	2	48	11,7011	11,7817	11,2482	11,6536	11,5962	0,2379	3,5239	3,4726	-0,1465	7,2078	3,5145	3,0025
13	4	15	3	120	11,989	12,0734	11,9481	11,5272	11,8844	0,2438	6,0711	6,0344	6,0667	6,0450	6,0543	0,0175
15	4	15	4	168	12,1444	12,229	12,0954	11,6785	12,0368	0,2452	7,4459	7,4010	7,3744	7,4369	7,4146	0,0331
17	4	15	5	216	12,274	12,3446	12,2109	11,7872	12,1542	0,2507	8,5926	8,4163	8,3997	8,4369	8,4614	0,0888
21	4	15	6	312	12,3628	12,4237	12,2732	11,8398	12,2249	0,2641	9,3782	9,1109	8,9527	8,9208	9,0907	0,2089
29	4	15	7	504	12,0748	12,6278	12,0345	11,5851	12,0806	0,4270	6,8302	10,9035	6,8337	6,5777	7,7863	2,0816
6	5	15	8	672	11,8195	11,868	11,7865	11,3505	11,7061	0,2394	4,5714	4,2305	4,6322	4,4195	4,4634	0,1792
19	5	15	9	984	11,3809	11,4303	11,3578	11,937	11,5265	0,2753	0,6910	0,3864	0,8265	9,8150	2,9297	4,5939
28	5	15	10	1200	11,1941	11,2546	11,1838	10,7541	11,0967	0,2305	-0,9617	-1,1567	-0,7182	-1,0671	-0,9759	0,1894
4	6	15	11	1368	11,0882	11,1428	11,0641	10,6542	10,9873	0,2245	-1,8986	-2,1385	-1,7808	-1,9862	-1,9510	0,1507
17	6	15	12	1680	10,9234	10,9785	10,9027	10,4998	10,8261	0,2199	-3,3567	-3,5815	-3,2136	-3,4066	-3,3896	0,1519
30	6	15	13	1992	10,7802	10,8432	10,7712	10,3579	10,6881	0,2225	-4,6236	-4,7698	-4,3809	-4,7120	-4,6216	0,1713
13	7	15	14	2304	10,6866	10,7329	10,6664	10,2643	10,5876	0,2173	-5,4517	-5,7385	-5,3113	-5,5731	-5,5186	0,1814
18	8	15	15	3168	10,4915	10,5543	10,4733	10,0929	10,4030	0,2096	-7,1779	-7,3070	-7,0255	-7,1499	-7,1651	0,1155
2	10	15	16	4248	10,3201	10,3825	10,2957	9,9174	10,2289	0,2109	-8,6943	-8,8159	-8,6021	-8,7644	-8,7192	0,0926

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B100						B100					
					17A	18A	19A	20A	Promedio A	Desviación estándar	17A	18A	19A	20A	Promedio A	Desviación estándar
8	4	15	0	0	11,4323	11,5848	11,2515	10,8513	11,2800	0,3166	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	11,8615	12,0127	11,6818	11,2599	11,7040	0,3255	3,7543	3,6936	3,8244	3,7654	3,7594	0,0536
10	4	15	2	48	12,1204	12,2592	11,9133	11,5019	11,9487	0,3300	6,0189	5,8214	5,8819	5,9956	5,9295	0,0937
13	4	15	3	120	12,726	12,8644	12,5107	12,0596	12,5402	0,3519	11,3162	11,0455	11,1914	11,1351	11,1720	0,1133
15	4	15	4	168	12,904	13,0785	12,7105	12,249	12,7355	0,3575	12,8732	12,8936	12,9672	12,8805	12,9036	0,0432
17	4	15	5	216	12,9289	13,1118	12,7451	12,2803	12,7665	0,3571	13,0910	13,1811	13,2747	13,1689	13,1789	0,0753
21	4	15	6	312	12,6552	12,824	12,514	12,1124	12,5264	0,3037	10,6969	10,6968	11,2207	11,6216	11,0590	0,4491
29	4	15	7	504	11,9734	12,3858	12,0428	11,3372	11,9348	0,4373	4,7331	6,9142	7,0328	4,4778	5,7895	1,3720
6	5	15	8	672	11,6178	11,7734	11,4392	11,0113	11,4604	0,3291	1,6226	1,6280	1,6682	1,4745	1,5983	0,0850
19	5	15	9	984	11,1033	11,2527	10,9345	10,5216	10,9530	0,3156	-2,8778	-2,8667	-2,8174	-3,0383	-2,9001	0,0959
28	5	15	10	1200	10,9205	11,0625	10,7473	10,3539	10,7711	0,3065	-4,4768	-4,5085	-4,4812	-4,5838	-4,5126	0,0495
4	6	15	11	1368	10,833	10,9664	10,6605	10,2623	10,6806	0,3057	-5,2422	-5,3380	-5,2526	-5,4279	-5,3152	0,0866
17	6	15	12	1680	10,6809	10,7974	10,5136	10,0874	10,5198	0,3109	-6,5726	-6,7968	-6,5582	-7,0397	-6,7418	0,2266
30	6	15	13	1992	10,5812	10,6934	10,3885	9,9702	10,4083	0,3181	-7,4447	-7,6946	-7,6701	-8,1198	-7,7323	0,2817
13	7	15	14	2304	10,4691	10,6103	10,3054	9,9353	10,3300	0,2912	-8,4253	-8,4119	-8,4087	-8,4414	-8,4218	0,0149
18	8	15	15	3168	10,3434	10,4765	10,1763	9,8311	10,2068	0,2790	-9,5248	-9,5668	-9,5561	-9,4016	-9,5123	0,0759
2	10	15	16	4248	10,2208	10,3411	10,0943	9,7078	10,0910	0,2746	-10,5972	-10,7356	-10,2849	-10,5379	-10,5389	0,1885

- O ‘ring verde diámetro chico.
  Material: VITON

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B10				B10			
					1V	2V	Promedio V	Desviación estándar	1V	2V	Promedio V	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,5769	0,5662	0,5716	0,0076	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,5782	0,568	0,5731	0,0072	0,2253	0,3179	0,2716	0,0655
10	4	15	2	48	0,5789	0,5682	0,5736	0,0076	0,3467	0,3532	0,3500	0,0046
13	4	15	3	120	0,5786	0,568	0,5733	0,0075	0,2947	0,3179	0,3063	0,0164
15	4	15	4	168	0,5778	0,5669	0,5724	0,0077	0,1560	0,1236	0,1398	0,0229
17	4	15	5	216	0,5775	0,5667	0,5721	0,0076	0,1040	0,0883	0,0962	0,0111
21	4	15	6	312	0,5781	0,567	0,5726	0,0078	0,2080	0,1413	0,1747	0,0472
29	4	15	7	504	0,5779	0,567	0,5725	0,0077	0,1733	0,1413	0,1573	0,0227
6	5	15	8	672	0,5778	0,5669	0,5724	0,0077	0,1560	0,1236	0,1398	0,0229
19	5	15	9	984	0,5777	0,5673	0,5725	0,0074	0,1387	0,1943	0,1665	0,0393
28	5	15	10	1200	0,5785	0,5687	0,5736	0,0069	0,2773	0,4415	0,3594	0,1161
4	6	15	11	1368	0,5776	0,5673	0,5725	0,0073	0,1213	0,1943	0,1578	0,0516
17	6	15	12	1680	0,5776	0,5674	0,5725	0,0072	0,1213	0,2119	0,1666	0,0641
30	6	15	13	1992	0,5776	0,5673	0,5725	0,0073	0,1213	0,1943	0,1578	0,0516
13	7	15	14	2304	0,5776	0,5672	0,5724	0,0074	0,1213	0,1766	0,1490	0,0391
18	8	15	15	3168	0,5783	0,5682	0,5733	0,0071	0,2427	0,3532	0,2980	0,0782
2	10	15	16	4248	0,5786	0,5679	0,5733	0,0076	0,2947	0,3002	0,2975	0,0039

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B25				B25			
					3V	4V	Promedio V	Desviacion estandar	3V	4V	Promedio V	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,5282	0,5824	0,5553	0,0383	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,5306	0,5843	0,5575	0,0380	0,4544	0,3262	0,3903	0,0906
10	4	15	2	48	0,5289	0,5829	0,5559	0,0382	0,1325	0,0859	0,1092	0,0330
13	4	15	3	120	0,5288	0,5828	0,5558	0,0382	0,1136	0,0687	0,0911	0,0318
15	4	15	4	168	0,5294	0,5841	0,5568	0,0387	0,2272	0,2919	0,2595	0,0458
17	4	15	5	216	0,529	0,5828	0,5559	0,0380	0,1515	0,0687	0,1101	0,0585
21	4	15	6	312	0,5289	0,5829	0,5559	0,0382	0,1325	0,0859	0,1092	0,0330
29	4	15	7	504	0,529	0,583	0,5560	0,0382	0,1515	0,1030	0,1272	0,0342
6	5	15	8	672	0,5293	0,583	0,5562	0,0380	0,2083	0,1030	0,1556	0,0744
19	5	15	9	984	0,5293	0,5835	0,5564	0,0383	0,2083	0,1889	0,1986	0,0137
28	5	15	10	1200	0,5308	0,5835	0,5572	0,0373	0,4922	0,1889	0,3406	0,2145
4	6	15	11	1368	0,5289	0,5835	0,5562	0,0386	0,1325	0,1889	0,1607	0,0398
17	6	15	12	1680	0,5293	0,5845	0,5569	0,0390	0,2083	0,3606	0,2844	0,1077
30	6	15	13	1992	0,5287	0,5836	0,5562	0,0388	0,0947	0,2060	0,1504	0,0788
13	7	15	14	2304	0,5294	0,5846	0,5570	0,0390	0,2272	0,3777	0,3025	0,1065
18	8	15	15	3168	0,5298	0,5849	0,5574	0,0390	0,3029	0,4293	0,3661	0,0893
2	10	15	16	4248	0,5313	0,5855	0,5584	0,0383	0,5869	0,5323	0,5596	0,0386

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B50				B50			
					5V	6V	Promedio V	Desviación estándar	5V	6V	Promedio V	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,5405	0,5784	0,5595	0,0268	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,5808	0,5429	0,5619	0,0268	7,4561	-6,1376	0,6592	9,6122
10	4	15	2	48	0,5412	0,579	0,5601	0,0267	0,1295	0,1037	0,1166	0,0182
13	4	15	3	120	0,5415	0,5799	0,5607	0,0272	0,1850	0,2593	0,2222	0,0526
15	4	15	4	168	0,5427	0,581	0,5619	0,0271	0,4070	0,4495	0,4283	0,0300
17	4	15	5	216	0,5798	0,5419	0,5609	0,0268	7,2710	-6,3105	0,4803	9,6036
21	4	15	6	312	0,5414	0,5797	0,5606	0,0271	0,1665	0,2248	0,1956	0,0412
29	4	15	7	504	0,5413	0,5796	0,5605	0,0271	0,1480	0,2075	0,1777	0,0420
6	5	15	8	672	0,5429	0,5797	0,5613	0,0260	0,4440	0,2248	0,3344	0,1551
19	5	15	9	984	0,542	0,5797	0,5609	0,0267	0,2775	0,2248	0,2511	0,0373
28	5	15	10	1200	0,5422	0,5803	0,5613	0,0269	0,3145	0,3285	0,3215	0,0099
4	6	15	11	1368	0,5425	0,5804	0,5615	0,0268	0,3700	0,3458	0,3579	0,0171
17	6	15	12	1680	0,5419	0,5802	0,5611	0,0271	0,2590	0,3112	0,2851	0,0369
30	6	15	13	1992	0,5421	0,5804	0,5613	0,0271	0,2960	0,3458	0,3209	0,0352
13	7	15	14	2304	0,5419	0,5802	0,5611	0,0271	0,2590	0,3112	0,2851	0,0369
18	8	15	15	3168	0,543	0,5814	0,5622	0,0272	0,4625	0,5187	0,4906	0,0397
2	10	15	16	4248	0,5454	0,5822	0,5638	0,0260	0,9066	0,6570	0,7818	0,1765

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B75				B75			
					7V	8V	Promedio V	Desviación estóndar	7V	8V	Promedio B	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,5750	0,5364	0,5557	0,0273	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,5771	0,5409	0,5590	0,0256	0,3652	0,8389	0,6021	0,3350
10	4	15	2	48	0,5760	0,5393	0,5577	0,0260	0,1739	0,5406	0,3573	0,2593
13	4	15	3	120	0,5768	0,5406	0,5587	0,0256	0,3130	0,7830	0,5480	0,3323
15	4	15	4	168	0,5775	0,5409	0,5592	0,0259	0,4348	0,8389	0,6369	0,2858
17	4	15	5	216	0,5770	0,5411	0,5591	0,0254	0,3478	0,8762	0,6120	0,3736
21	4	15	6	312	0,5752	0,5407	0,5580	0,0244	0,0348	0,8016	0,4182	0,5423
29	4	15	7	504	0,5756	0,5399	0,5578	0,0252	0,1043	0,6525	0,3784	0,3876
6	5	15	8	672	0,5759	0,5398	0,5579	0,0255	0,1565	0,6339	0,3952	0,3375
19	5	15	9	984	0,5765	0,5403	0,5584	0,0256	0,2609	0,7271	0,4940	0,3297
28	5	15	10	1200	0,5764	0,5403	0,5584	0,0255	0,2435	0,7271	0,4853	0,3420
4	6	15	11	1368	0,5760	0,5402	0,5581	0,0253	0,1739	0,7084	0,4412	0,3780
17	6	15	12	1680	0,5760	0,5402	0,5581	0,0253	0,1739	0,7084	0,4412	0,3780
30	6	15	13	1992	0,5761	0,5406	0,5584	0,0251	0,1913	0,7830	0,4872	0,4184
13	7	15	14	2304	0,5764	0,5406	0,5585	0,0253	0,2435	0,7830	0,5132	0,3815
18	8	15	15	3168	0,5766	0,5404	0,5585	0,0256	0,2783	0,7457	0,5120	0,3305
2	10	15	16	4248	0,5776	0,5415	0,5596	0,0255	0,4522	0,9508	0,7015	0,3526

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B100				B100			
					9V	10V	Promedio V	Desviación estóndar	9V	10V	Promedio V	Desviación estóndar
8	4	15	0	0	0,5364	0,5606	0,5485	0,0171	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,5374	0,5615	0,5495	0,0170	0,1864	0,1605	0,1735	0,0183
10	4	15	2	48	0,5370	0,5617	0,5494	0,0175	0,1119	0,1962	0,1540	0,0597
13	4	15	3	120	0,5382	0,5625	0,5504	0,0172	0,3356	0,3389	0,3372	0,0024
15	4	15	4	168	0,5373	0,5619	0,5496	0,0174	0,1678	0,2319	0,1998	0,0453
17	4	15	5	216	0,5378	0,5638	0,5508	0,0184	0,2610	0,5708	0,4159	0,2191
21	4	15	6	312	0,5376	0,5627	0,5502	0,0177	0,2237	0,3746	0,2992	0,1067
29	4	15	7	504	0,5377	0,5617	0,5497	0,0170	0,2424	0,1962	0,2193	0,0326
6	5	15	8	672	0,5375	0,5616	0,5496	0,0170	0,2051	0,1784	0,1917	0,0189
19	5	15	9	984	0,5377	0,5621	0,5499	0,0173	0,2424	0,2676	0,2550	0,0178
28	5	15	10	1200	0,5380	0,5626	0,5503	0,0174	0,2983	0,3568	0,3275	0,0413
4	6	15	11	1368	0,5376	0,5619	0,5498	0,0172	0,2237	0,2319	0,2278	0,0058
17	6	15	12	1680	0,5375	0,5614	0,5495	0,0169	0,2051	0,1427	0,1739	0,0441
30	6	15	13	1992	0,5386	0,5634	0,5510	0,0175	0,4101	0,4995	0,4548	0,0632
13	7	15	14	2304	0,5376	0,5616	0,5496	0,0170	0,2237	0,1784	0,2010	0,0321
18	8	15	15	3168	0,5372	0,5623	0,5498	0,0177	0,1491	0,3032	0,2262	0,1090
2	10	15	16	4248	0,5390	0,5632	0,5511	0,0171	0,4847	0,4638	0,4743	0,0148

- O ‘ring verde diámetro grande.
  Material: VITON

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B10				B10			
					1VG	2VG	Promedio VG	Desviación estándar	1VG	2VG	Promedio VG	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,9740	0,9784	0,9762	0,0031	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,9765	1,0005	0,9885	0,0170	0,2567	2,2588	1,2577	1,4157
10	4	15	2	48	0,9779	0,9983	0,9881	0,0144	0,4004	2,0339	1,2172	1,1551
13	4	15	3	120	0,9779	1,0056	0,9918	0,0196	0,4004	2,7800	1,5902	1,6827
15	4	15	4	168	0,9771	0,9975	0,9873	0,0144	0,3183	1,9522	1,1352	1,1553
17	4	15	5	216	0,9752	0,9978	0,9865	0,0160	0,1232	1,9828	1,0530	1,3150
21	4	15	6	312	0,9781	0,9998	0,9890	0,0153	0,4209	2,1872	1,3041	1,2490
29	4	15	7	504	0,9757	0,9990	0,9874	0,0165	0,1745	2,1055	1,1400	1,3654
6	5	15	8	672	0,9766	0,9980	0,9873	0,0151	0,2669	2,0033	1,1351	1,2278
19	5	15	9	984	0,9767	0,9985	0,9876	0,0154	0,2772	2,0544	1,1658	1,2566
28	5	15	10	1200	0,9766	0,9984	0,9875	0,0154	0,2669	2,0442	1,1555	1,2567
4	6	15	11	1368	0,9762	0,9977	0,9870	0,0152	0,2259	1,9726	1,0992	1,2351
17	6	15	12	1680	0,9761	0,9977	0,9869	0,0153	0,2156	1,9726	1,0941	1,2424
30	6	15	13	1992	0,9760	0,9976	0,9868	0,0153	0,2053	1,9624	1,0839	1,2424
13	7	15	14	2304	0,9759	0,9975	0,9867	0,0153	0,1951	1,9522	1,0736	1,2425
18	8	15	15	3168	0,9763	0,9980	0,9872	0,0153	0,2361	2,0033	1,1197	1,2496
2	10	15	16	4248	0,9766	1,0003	0,9885	0,0168	0,2669	2,2383	1,2526	1,3940

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B25				B25			
					3VG	4VG	Promedio VG	Desviación estándar	3VG	4VG	Promedio VG	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,9785	0,9949	0,9867	0,0116	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,9835	0,999	0,9913	0,0110	0,5110	0,4121	0,4615	0,0699
10	4	15	2	48	0,9813	0,9971	0,9892	0,0112	0,2862	0,2211	0,2536	0,0460
13	4	15	3	120	0,9803	0,9963	0,9883	0,0113	0,1840	0,1407	0,1623	0,0306
15	4	15	4	168	0,9816	0,9998	0,9907	0,0129	0,3168	0,4925	0,4047	0,1242
17	4	15	5	216	0,9817	0,9971	0,9894	0,0109	0,3270	0,2211	0,2741	0,0749
21	4	15	6	312	0,9797	0,9978	0,9888	0,0128	0,1226	0,2915	0,2071	0,1194
29	4	15	7	504	0,9802	0,996	0,9881	0,0112	0,1737	0,1106	0,1421	0,0447
6	5	15	8	672	0,9809	0,9961	0,9885	0,0107	0,2453	0,1206	0,1829	0,0881
19	5	15	9	984	0,9807	0,9972	0,9890	0,0117	0,2248	0,2312	0,2280	0,0045
28	5	15	10	1200	0,9826	0,9972	0,9899	0,0103	0,4190	0,2312	0,3251	0,1328
4	6	15	11	1368	0,9805	0,9967	0,9886	0,0115	0,2044	0,1809	0,1927	0,0166
17	6	15	12	1680	0,9805	0,9966	0,9886	0,0114	0,2044	0,1709	0,1876	0,0237
30	6	15	13	1992	0,9802	0,9969	0,9886	0,0118	0,1737	0,2010	0,1874	0,0193
13	7	15	14	2304	0,9803	0,9964	0,9884	0,0114	0,1840	0,1508	0,1674	0,0235
18	8	15	15	3168	0,982	0,9972	0,9896	0,0107	0,3577	0,2312	0,2944	0,0895
2	10	15	16	4248	0,9839	1,0008	0,9924	0,0120	0,5519	0,5930	0,5724	0,0291

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B50				B50			
					5VG	6VG	Promedio VG	Desviación estándar	5VG	6VG	Promedio VG	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,9903	0,9764	0,9834	0,0098	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,9952	0,9815	0,9884	0,0097	0,4948	0,5223	0,5086	0,0195
10	4	15	2	48	0,9922	0,9778	0,9850	0,0102	0,1919	0,1434	0,1676	0,0343
13	4	15	3	120	0,9945	0,9804	0,9875	0,0100	0,4241	0,4097	0,4169	0,0102
15	4	15	4	168	0,9963	0,9827	0,9895	0,0096	0,6059	0,6452	0,6256	0,0278
17	4	15	5	216	0,9946	0,9827	0,9887	0,0084	0,4342	0,6452	0,5397	0,1492
21	4	15	6	312	0,9924	0,9828	0,9876	0,0068	0,2121	0,6555	0,4338	0,3135
29	4	15	7	504	0,9923	0,9785	0,9854	0,0098	0,2020	0,2151	0,2085	0,0093
6	5	15	8	672	0,9925	0,9791	0,9858	0,0095	0,2222	0,2765	0,2493	0,0384
19	5	15	9	984	0,994	0,979	0,9865	0,0106	0,3736	0,2663	0,3200	0,0759
28	5	15	10	1200	0,9944	0,9821	0,9883	0,0087	0,4140	0,5838	0,4989	0,1200
4	6	15	11	1368	0,9931	0,979	0,9861	0,0100	0,2827	0,2663	0,2745	0,0116
17	6	15	12	1680	0,993	0,9789	0,9860	0,0100	0,2726	0,2560	0,2643	0,0117
30	6	15	13	1992	0,9928	0,9792	0,9860	0,0096	0,2524	0,2868	0,2696	0,0243
13	7	15	14	2304	0,9928	0,9787	0,9858	0,0100	0,2524	0,2356	0,2440	0,0119
18	8	15	15	3168	0,995	0,9803	0,9877	0,0104	0,4746	0,3994	0,4370	0,0532
2	10	15	16	4248	0,9956	0,9822	0,9889	0,0095	0,5352	0,5940	0,5646	0,0416

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B75				B75			
					7VG	8VG	Promedio VG	Desviación estándar	7VG	8VG	Promedio VG	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,9908	0,9786	0,9847	0,0086	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,995	0,9848	0,9899	0,0072	0,4239	0,6336	0,5287	0,1483
10	4	15	2	48	0,9951	0,9821	0,9886	0,0092	0,4340	0,3577	0,3958	0,0540
13	4	15	3	120	0,9945	0,9824	0,9885	0,0086	0,3734	0,3883	0,3809	0,0105
15	4	15	4	168	0,9966	0,9853	0,9910	0,0080	0,5854	0,6847	0,6350	0,0702
17	4	15	5	216	0,9955	0,9837	0,9896	0,0083	0,4744	0,5212	0,4978	0,0331
21	4	15	6	312	0,9947	0,9825	0,9886	0,0086	0,3936	0,3985	0,3961	0,0035
29	4	15	7	504	0,9944	0,9822	0,9883	0,0086	0,3633	0,3679	0,3656	0,0032
6	5	15	8	672	0,9945	0,9829	0,9887	0,0082	0,3734	0,4394	0,4064	0,0466
19	5	15	9	984	0,9947	0,9828	0,9888	0,0084	0,3936	0,4292	0,4114	0,0251
28	5	15	10	1200	0,9981	0,9835	0,9908	0,0103	0,7368	0,5007	0,6187	0,1669
4	6	15	11	1368	0,9979	0,9833	0,9906	0,0103	0,7166	0,4803	0,5984	0,1671
17	6	15	12	1680	0,9977	0,9832	0,9905	0,0103	0,6964	0,4701	0,5832	0,1601
30	6	15	13	1992	0,9976	0,9831	0,9904	0,0103	0,6863	0,4598	0,5731	0,1601
13	7	15	14	2304	0,9955	0,9846	0,9901	0,0077	0,4744	0,6131	0,5437	0,0981
18	8	15	15	3168	0,9969	0,9822	0,9896	0,0104	0,6157	0,3679	0,4918	0,1752
2	10	15	16	4248	0,9996	0,9872	0,9934	0,0088	0,8882	0,8788	0,8835	0,0066

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)				VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)			
					B100				B100			
					9VG	10VG	Promedio VG	Desviación estándar	9VG	10VG	Promedio VG	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,976	0,9769	0,9765	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,9941	0,9796	0,9869	0,0103	1,8545	0,2764	1,0654	1,1159
10	4	15	2	48	0,9928	0,9786	0,9857	0,0100	1,7213	0,1740	0,9477	1,0941
13	4	15	3	120	0,9978	0,9798	0,9888	0,0127	2,2336	0,2969	1,2652	1,3695
15	4	15	4	168	0,9965	0,9801	0,9883	0,0116	2,1004	0,3276	1,2140	1,2536
17	4	15	5	216	0,9954	0,982	0,9887	0,0095	1,9877	0,5221	1,2549	1,0364
21	4	15	6	312	0,9951	0,9819	0,9885	0,0093	1,9570	0,5118	1,2344	1,0219
29	4	15	7	504	0,9954	0,9798	0,9876	0,0110	1,9877	0,2969	1,1423	1,1956
6	5	15	8	672	0,9959	0,9808	0,9884	0,0107	2,0389	0,3992	1,2191	1,1595
19	5	15	9	984	0,9955	0,9805	0,9880	0,0106	1,9980	0,3685	1,1832	1,1522
28	5	15	10	1200	0,9988	0,984	0,9914	0,0105	2,3361	0,7268	1,5314	1,1379
4	6	15	11	1368	0,9957	0,9808	0,9883	0,0105	2,0184	0,3992	1,2088	1,1450
17	6	15	12	1680	0,9962	0,9815	0,9889	0,0104	2,0697	0,4709	1,2703	1,1305
30	6	15	13	1992	0,997	0,9809	0,9890	0,0114	2,1516	0,4095	1,2805	1,2319
13	7	15	14	2304	0,9969	0,981	0,9890	0,0112	2,1414	0,4197	1,2805	1,2174
18	8	15	15	3168	0,995	0,983	0,9890	0,0085	1,9467	0,6244	1,2856	0,9350
2	10	15	16	4248	0,9996	0,9855	0,9926	0,0100	2,4180	0,8803	1,6492	1,0873

- O ‘ring marrón.
  Material: VITON

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						Variación porcentual del peso (%)					
					B10						B10					
					1M	2M	3M	4M	Promedio M	Desviación estándar	1M	2M	3M	4M	Promedio M	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,3336	0,3383	0,3352	0,3367	0,3360	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,3347	0,3394	0,336	0,3375	0,3369	0,0020	0,3297	0,3252	0,2387	0,2376	0,2828	0,0516
10	4	15	2	48	0,3361	0,3399	0,3375	0,3377	0,3378	0,0016	0,7494	0,4730	0,6862	0,2970	0,5514	0,2068
13	4	15	3	120	0,3367	0,3398	0,3362	0,3378	0,3376	0,0016	0,9293	0,4434	0,2983	0,3267	0,4994	0,2934
15	4	15	4	168	0,3346	0,339	0,336	0,3371	0,3367	0,0019	0,2998	0,2069	0,2387	0,1188	0,2160	0,0754
17	4	15	5	216	0,3342	0,3389	0,3359	0,3372	0,3366	0,0020	0,1799	0,1774	0,2088	0,1485	0,1786	0,0247
21	4	15	6	312	0,3339	0,3391	0,3354	0,3379	0,3366	0,0024	0,0899	0,2365	0,0597	0,3564	0,1856	0,1376
29	4	15	7	504	0,3342	0,3393	0,3357	0,3377	0,3367	0,0022	0,1799	0,2956	0,1492	0,2970	0,2304	0,0771
6	5	15	8	672	0,3348	0,3392	0,3363	0,3375	0,3370	0,0019	0,3597	0,2660	0,3282	0,2376	0,2979	0,0559
19	5	15	9	984	0,3346	0,3395	0,3362	0,3376	0,3370	0,0021	0,2998	0,3547	0,2983	0,2673	0,3050	0,0364
28	5	15	10	1200	0,3343	0,3405	0,3362	0,3377	0,3372	0,0026	0,2098	0,6503	0,2983	0,2970	0,3639	0,1954
4	6	15	11	1368	0,3341	0,3397	0,3364	0,3379	0,3370	0,0024	0,1499	0,4138	0,3580	0,3564	0,3195	0,1162
17	6	15	12	1680	0,3348	0,3399	0,3371	0,3382	0,3375	0,0021	0,3597	0,4730	0,5668	0,4455	0,4612	0,0853
30	6	15	13	1992	0,3346	0,3397	0,3369	0,338	0,3373	0,0021	0,2998	0,4138	0,5072	0,3861	0,4017	0,0854
13	7	15	14	2304	0,3346	0,3398	0,3369	0,338	0,3373	0,0022	0,2998	0,4434	0,5072	0,3861	0,4091	0,0881
18	8	15	15	3168	0,3349	0,3398	0,3371	0,3382	0,3375	0,0021	0,3897	0,4434	0,5668	0,4455	0,4614	0,0749
2	10	15	16	4248	0,3355	0,3404	0,3372	0,3389	0,3380	0,0021	0,5695	0,6208	0,5967	0,6534	0,6101	0,0357

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B25						B25					
					5M	6M	7M	8M	Promedio M	Desviación estándar	5M	6M	7M	8M	Promedio M	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,3806	0,3415	0,3422	0,332	0,3491	0,0215	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,381	0,3431	0,3437	0,3333	0,3503	0,0210	0,1051	0,4685	0,4383	0,3916	0,3509	0,1669
10	4	15	2	48	0,3816	0,3422	0,3428	0,3326	0,3498	0,0217	0,2627	0,2050	0,1753	0,1807	0,2059	0,0400
13	4	15	3	120	0,381	0,3427	0,3428	0,3328	0,3498	0,0213	0,1051	0,3514	0,1753	0,2410	0,2182	0,1047
15	4	15	4	168	0,3817	0,3428	0,3436	0,3327	0,3502	0,0216	0,2890	0,3807	0,4091	0,2108	0,3224	0,0903
17	4	15	5	216	0,3812	0,3424	0,3429	0,3326	0,3498	0,0215	0,1576	0,2635	0,2046	0,1807	0,2016	0,0455
21	4	15	6	312	0,3812	0,3426	0,3431	0,3324	0,3498	0,0215	0,1576	0,3221	0,2630	0,1205	0,2158	0,0931
29	4	15	7	504	0,3812	0,3427	0,3433	0,3332	0,3501	0,0212	0,1576	0,3514	0,3214	0,3614	0,2980	0,0951
6	5	15	8	672	0,3815	0,3426	0,3435	0,3332	0,3502	0,0214	0,2365	0,3221	0,3799	0,3614	0,3250	0,0637
19	5	15	9	984	0,3816	0,3427	0,3436	0,3333	0,3503	0,0214	0,2627	0,3514	0,4091	0,3916	0,3537	0,0653
28	5	15	10	1200	0,3828	0,3424	0,3433	0,333	0,3504	0,0221	0,5780	0,2635	0,3214	0,3012	0,3661	0,1433
4	6	15	11	1368	0,3811	0,3428	0,3434	0,3331	0,3501	0,0212	0,1314	0,3807	0,3507	0,3313	0,2985	0,1133
17	6	15	12	1680	0,3813	0,3431	0,3439	0,3329	0,3503	0,0213	0,1839	0,4685	0,4968	0,2711	0,3551	0,1520
30	6	15	13	1992	0,3814	0,343	0,3441	0,3331	0,3504	0,0213	0,2102	0,4392	0,5552	0,3313	0,3840	0,1476
13	7	15	14	2304	0,3815	0,3433	0,3439	0,3331	0,3505	0,0213	0,2365	0,5271	0,4968	0,3313	0,3979	0,1378
18	8	15	15	3168	0,3814	0,3437	0,3442	0,3337	0,3508	0,0210	0,2102	0,6442	0,5845	0,5120	0,4877	0,1928
2	10	15	16	4248	0,3827	0,3439	0,3466	0,334	0,3518	0,0213	0,5518	0,7028	1,2858	0,6024	0,7857	0,3393

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B50						B50					
					9M	10M	11M	12M	Promedio M	Desviación estándar	9M	10M	11M	12M	Promedio M	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,3417	0,3345	0,3381	0,3374	0,3379	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,3431	0,336	0,3393	0,3387	0,3393	0,0029	0,4097	0,4484	0,3549	0,3853	0,3996	0,0395
10	4	15	2	48	0,3425	0,3352	0,3386	0,3378	0,3385	0,0030	0,2341	0,2093	0,1479	0,1186	0,1775	0,0534
13	4	15	3	120	0,343	0,3357	0,3393	0,3381	0,3390	0,0030	0,3805	0,3587	0,3549	0,2075	0,3254	0,0794
15	4	15	4	168	0,3438	0,3362	0,3399	0,3396	0,3399	0,0031	0,6146	0,5082	0,5324	0,6520	0,5768	0,0677
17	4	15	5	216	0,3434	0,3359	0,3391	0,3383	0,3392	0,0031	0,4975	0,4185	0,2958	0,2667	0,3696	0,1077
21	4	15	6	312	0,3423	0,3347	0,3387	0,3376	0,3383	0,0031	0,1756	0,0598	0,1775	0,0593	0,1180	0,0676
29	4	15	7	504	0,3427	0,3359	0,339	0,3382	0,3390	0,0028	0,2927	0,4185	0,2662	0,2371	0,3036	0,0799
6	5	15	8	672	0,3431	0,3354	0,3393	0,3384	0,3391	0,0032	0,4097	0,2691	0,3549	0,2964	0,3325	0,0627
19	5	15	9	984	0,3428	0,3357	0,3392	0,3388	0,3391	0,0029	0,3219	0,3587	0,3253	0,4149	0,3552	0,0431
28	5	15	10	1200	0,3434	0,336	0,3397	0,3397	0,3397	0,0030	0,4975	0,4484	0,4732	0,6817	0,5252	0,1062
4	6	15	11	1368	0,3441	0,3363	0,3399	0,3387	0,3398	0,0033	0,7024	0,5381	0,5324	0,3853	0,5395	0,1296
17	6	15	12	1680	0,343	0,3355	0,3394	0,3377	0,3389	0,0032	0,3805	0,2990	0,3845	0,0889	0,2882	0,1386
30	6	15	13	1992	0,344	0,3361	0,3398	0,3388	0,3397	0,0033	0,6731	0,4783	0,5028	0,4149	0,5173	0,1103
13	7	15	14	2304	0,3438	0,3365	0,3399	0,3398	0,3400	0,0030	0,6146	0,5979	0,5324	0,7113	0,6140	0,0739
18	8	15	15	3168	0,345	0,3371	0,3399	0,3396	0,3404	0,0033	0,9658	0,7773	0,5324	0,6520	0,7319	0,1852
2	10	15	16	4248	0,3451	0,3373	0,3407	0,3403	0,3409	0,0032	0,9950	0,8371	0,7690	0,8595	0,8652	0,0947

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B75						B75					
					13M	14M	15M	16M	Promedio M	Desviación estándar	13M	14M	15M	16M	Promedio M	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,3726	0,3391	0,3705	0,3697	0,3630	0,0160	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,374	0,3408	0,3713	0,3715	0,3644	0,0158	0,3757	0,5013	0,2159	0,4869	0,3950	0,1319
10	4	15	2	48	0,3733	0,3399	0,3708	0,3708	0,3637	0,0159	0,1879	0,2359	0,0810	0,2975	0,2006	0,0915
13	4	15	3	120	0,3739	0,3409	0,372	0,371	0,3645	0,0157	0,3489	0,5308	0,4049	0,3516	0,4091	0,0852
15	4	15	4	168	0,3742	0,3418	0,3722	0,3716	0,3650	0,0155	0,4294	0,7962	0,4588	0,5139	0,5496	0,1681
17	4	15	5	216	0,3744	0,3423	0,3726	0,3714	0,3652	0,0153	0,4831	0,9437	0,5668	0,4598	0,6134	0,2250
21	4	15	6	312	0,3759	0,3421	0,371	0,3709	0,3650	0,0154	0,8857	0,8847	0,1350	0,3246	0,5575	0,3862
29	4	15	7	504	0,3731	0,3402	0,371	0,3708	0,3638	0,0158	0,1342	0,3244	0,1350	0,2975	0,2228	0,1024
6	5	15	8	672	0,3735	0,3406	0,3711	0,3706	0,3640	0,0156	0,2415	0,4423	0,1619	0,2434	0,2723	0,1195
19	5	15	9	984	0,3737	0,3406	0,371	0,3704	0,3639	0,0156	0,2952	0,4423	0,1350	0,1893	0,2655	0,1354
28	5	15	10	1200	0,3742	0,3408	0,3715	0,3714	0,3645	0,0158	0,4294	0,5013	0,2699	0,4598	0,4151	0,1012
4	6	15	11	1368	0,3738	0,3412	0,3715	0,371	0,3644	0,0155	0,3221	0,6193	0,2699	0,3516	0,3907	0,1561
17	6	15	12	1680	0,3735	0,3403	0,3702	0,3699	0,3635	0,0155	0,2415	0,3539	-0,0810	0,0541	0,1421	0,1934
30	6	15	13	1992	0,3734	0,3408	0,3706	0,3699	0,3637	0,0153	0,2147	0,5013	0,0270	0,0541	0,1993	0,2177
13	7	15	14	2304	0,3746	0,3416	0,3717	0,3716	0,3649	0,0156	0,5368	0,7372	0,3239	0,5139	0,5280	0,1690
18	8	15	15	3168	0,3742	0,3412	0,372	0,3712	0,3647	0,0157	0,4294	0,6193	0,4049	0,4057	0,4648	0,1036
2	10	15	16	4248	0,3743	0,342	0,3722	0,3716	0,3650	0,0154	0,4563	0,8552	0,4588	0,5139	0,5711	0,1913

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)						VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)					
					B100						B100					
					17M	18M	19M	20M	Promedio M	Desviación estándar	17M	18M	19M	20M	Promedio M	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,3724	0,373	0,361	0,375	0,3704	0,0063	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,373	0,3735	0,3618	0,3758	0,3710	0,0063	0,1611	0,1340	0,2216	0,2133	0,1825	0,0420
10	4	15	2	48	0,3732	0,3736	0,3621	0,3757	0,3712	0,0061	0,2148	0,1609	0,3047	0,1867	0,2168	0,0626
13	4	15	3	120	0,3944	0,3746	0,3636	0,3762	0,3772	0,0128	5,9076	0,4290	0,7202	0,3200	1,8442	2,7142
15	4	15	4	168	0,3733	0,374	0,3628	0,3762	0,3716	0,0060	0,2417	0,2681	0,4986	0,3200	0,3321	0,1157
17	4	15	5	216	0,3738	0,3741	0,3631	0,3765	0,3719	0,0060	0,3759	0,2949	0,5817	0,4000	0,4131	0,1210
21	4	15	6	312	0,3722	0,3738	0,3624	0,3756	0,3710	0,0059	-0,0537	0,2145	0,3878	0,1600	0,1771	0,1820
29	4	15	7	504	0,3737	0,3736	0,3628	0,3757	0,3715	0,0058	0,3491	0,1609	0,4986	0,1867	0,2988	0,1571
6	5	15	8	672	0,3731	0,3738	0,3623	0,3758	0,3713	0,0061	0,1880	0,2145	0,3601	0,2133	0,2440	0,0784
19	5	15	9	984	0,3729	0,3739	0,3626	0,376	0,3714	0,0060	0,1343	0,2413	0,4432	0,2667	0,2714	0,1281
28	5	15	10	1200	0,3734	0,3742	0,3629	0,3762	0,3717	0,0060	0,2685	0,3217	0,5263	0,3200	0,3591	0,1142
4	6	15	11	1368	0,3734	0,3739	0,3626	0,376	0,3715	0,0060	0,2685	0,2413	0,4432	0,2667	0,3049	0,0930
17	6	15	12	1680	0,3734	0,3738	0,3626	0,3758	0,3714	0,0060	0,2685	0,2145	0,4432	0,2133	0,2849	0,1086
30	6	15	13	1992	0,374	0,3748	0,3635	0,3765	0,3722	0,0059	0,4296	0,4826	0,6925	0,4000	0,5012	0,1321
13	7	15	14	2304	0,3744	0,3748	0,3629	0,3765	0,3722	0,0062	0,5371	0,4826	0,5263	0,4000	0,4865	0,0623
18	8	15	15	3168	0,3738	0,3739	0,3629	0,376	0,3717	0,0059	0,3759	0,2413	0,5263	0,2667	0,3526	0,1297
2	10	15	16	4248	0,3749	0,3742	0,3635	0,3764	0,3723	0,0059	0,6713	0,3217	0,6925	0,3733	0,5147	0,1944

- O‘ring negro.
  Material: Goma de nitrilo butadieno (NBR)

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B10					B10				
					1F	2F	3F	Promedio F	Desviación estándar	1F	2F	3F	Promedio F	Desviación estándar
8	4	15	0	0	0,8194	0,8167	0,8116	0,8159	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,8340	0,8323	0,8267	0,8310	0,0038	1,7818	1,9101	1,8605	1,8508	0,0647
10	4	15	2	48	0,8387	0,8365	0,8349	0,8367	0,0019	2,3554	2,4244	2,8709	2,5502	0,2798
13	4	15	3	120	0,8476	0,8455	0,8374	0,8435	0,0054	3,4415	3,5264	3,1789	3,3823	0,1812
15	4	15	4	168	0,8530	0,8505	0,8421	0,8485	0,0057	4,1006	4,1386	3,7580	3,9991	0,2096
17	4	15	5	216	0,8539	0,8511	0,8425	0,8492	0,0059	4,2104	4,2121	3,8073	4,0766	0,2332
21	4	15	6	312	0,8612	0,8561	0,8467	0,8547	0,0074	5,1013	4,8243	4,3248	4,7501	0,3935
29	4	15	7	504	0,8661	0,8647	0,8458	0,8589	0,0113	5,6993	5,8773	4,2139	5,2635	0,9133
6	5	15	8	672	0,8682	0,8654	0,8450	0,8595	0,0127	5,9556	5,9630	4,1153	5,3446	1,0646
19	5	15	9	984	0,8737	0,8697	0,8441	0,8625	0,0161	6,6268	6,4895	4,0044	5,7069	1,4760
28	5	15	10	1200	0,8744	0,8693	0,8401	0,8613	0,0185	6,7122	6,4406	3,5116	5,5548	1,7747
4	6	15	11	1368	0,8733	0,8681	0,8385	0,8600	0,0188	6,5780	6,2936	3,3144	5,3953	1,8077
17	6	15	12	1680	0,8719	0,8659	0,8363	0,8580	0,0191	6,4071	6,0242	3,0434	5,1582	1,8415
30	6	15	13	1992	0,8722	0,8681	0,8362	0,8588	0,0197	6,4437	6,2936	3,0310	5,2561	1,9284
13	7	15	14	2304	0,8731	0,8676	0,8354	0,8587	0,0204	6,5536	6,2324	2,9325	5,2395	2,0044
18	8	15	15	3168	0,8736	0,8674	0,8334	0,8581	0,0216	6,6146	6,2079	2,6861	5,1695	2,1603
2	10	15	16	4248	0,8752	0,8692	0,8368	0,8604	0,0207	6,8099	6,4283	3,1050	5,4477	2,0378

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B25					B25				
					4F	5F	6F	Promedio F	Desviación estándar	4F	5F	6F	Promedio F	Desviación estándar
8	4	15	0	-9,5	0,8179	0,8201	0,8130	0,8170	0,0036	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,8379	0,8370	0,8323	0,8357	0,0030	2,4453	2,0607	2,3739	2,2933	0,2046
10	4	15	2	48	0,8403	0,8433	0,8353	0,8396	0,0040	2,7387	2,8289	2,7429	2,7702	0,0509
13	4	15	3	120	0,8513	0,8533	0,8444	0,8497	0,0047	4,0836	4,0483	3,8622	3,9981	0,1189
15	4	15	4	168	0,8583	0,8616	0,8505	0,8568	0,0057	4,9395	5,0604	4,6125	4,8708	0,2317
17	4	15	5	216	0,8603	0,8621	0,8501	0,8575	0,0065	5,1840	5,1213	4,5633	4,9562	0,3417
21	4	15	6	312	0,8663	0,8685	0,8575	0,8641	0,0058	5,9176	5,9017	5,4736	5,7643	0,2519
29	4	15	7	504	0,8699	0,8735	0,8517	0,8650	0,0117	6,3577	6,5114	4,7601	5,8764	0,9698
6	5	15	8	672	0,8735	0,8760	0,8498	0,8664	0,0145	6,7979	6,8162	4,5264	6,0469	1,3168
19	5	15	9	984	0,8737	0,8765	0,8448	0,8650	0,0175	6,8223	6,8772	3,9114	5,8703	1,6967
28	5	15	10	1200	0,8754	0,8779	0,8442	0,8658	0,0188	7,0302	7,0479	3,8376	5,9719	1,8484
4	6	15	11	1368	0,8752	0,8773	0,8424	0,8650	0,0196	7,0057	6,9748	3,6162	5,8656	1,9481
17	6	15	12	1680	0,8752	0,8770	0,8425	0,8649	0,0194	7,0057	6,9382	3,6285	5,8575	1,9306
30	6	15	13	1992	0,8758	0,8779	0,8431	0,8656	0,0195	7,0791	7,0479	3,7023	5,9431	1,9406
13	7	15	14	2304	0,8753	0,8778	0,8396	0,8642	0,0214	7,0180	7,0357	3,2718	5,7752	2,1680
18	8	15	15	3168	0,8760	0,8789	0,8398	0,8649	0,0218	7,1036	7,1699	3,2964	5,8566	2,2174
2	10	15	16	4248	0,8801	0,8834	0,8443	0,8693	0,0217	7,6048	7,7186	3,8499	6,3911	2,2015

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B50					B50				
					7F	8F	9F	Promedio F	Desviación estándar	7F	8F	9F	Promedio F	Desviación estándar
8	4	15	0	-9,5	0,804	0,806	0,81	0,8066	0,0029	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,826	0,828	0,832	0,8284	0,0029	2,7360	2,6675	2,6920	2,6985	0,0347
10	4	15	2	48	0,832	0,834	0,837	0,8342	0,0027	3,4200	3,4864	3,3465	3,4176	0,0700
13	4	15	3	120	0,846	0,849	0,851	0,8488	0,0027	5,2108	5,3474	5,1371	5,2318	0,1067
15	4	15	4	168	0,85	0,853	0,856	0,8529	0,0028	5,7456	5,7940	5,6804	5,7400	0,0570
17	4	15	5	216	0,854	0,858	0,86	0,8570	0,0031	6,1435	6,4268	6,1497	6,2400	0,1618
21	4	15	6	312	0,853	0,855	0,86	0,8558	0,0037	6,0440	6,0670	6,1867	6,0992	0,0766
29	4	15	7	504	0,85	0,852	0,857	0,8533	0,0036	5,7331	5,7568	5,8656	5,7852	0,0707
6	5	15	8	672	0,848	0,85	0,856	0,8513	0,0044	5,4346	5,4342	5,7422	5,5370	0,1777
19	5	15	9	984	0,844	0,846	0,852	0,8473	0,0043	4,9621	4,9380	5,2235	5,0412	0,1584
28	5	15	10	1200	0,841	0,844	0,851	0,8453	0,0053	4,5765	4,6898	5,1000	4,7888	0,2754
4	6	15	11	1368	0,84	0,843	0,848	0,8436	0,0043	4,4522	4,5285	4,7543	4,5783	0,1571
17	6	15	12	1680	0,839	0,842	0,848	0,8429	0,0045	4,3776	4,4045	4,7049	4,4956	0,1817
30	6	15	13	1992	0,841	0,844	0,849	0,8444	0,0037	4,6139	4,6650	4,7790	4,6859	0,0845
13	7	15	14	2304	0,843	0,845	0,852	0,8467	0,0045	4,8377	4,8883	5,1865	4,9708	0,1884
18	8	15	15	3168	0,853	0,856	0,863	0,8573	0,0050	6,0813	6,2035	6,5448	6,2765	0,2402
2	10	15	16	4248	0,868	0,87	0,878	0,8719	0,0053	7,9343	7,9156	8,4095	8,0865	0,2799

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B75					B75				
					10F	11F	12F	Promedio F	Desviación estándar	10F	11F	12F	Promedio F	Desviación estándar
8	4	15	0	-9,5	0,805	0,817	0,808	0,8100	0,0065	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,837	0,846	0,84	0,8407	0,0045	3,9627	3,4622	3,9500	3,7916	0,2854
10	4	15	2	48	0,847	0,857	0,849	0,8508	0,0052	5,1801	4,7957	5,1387	5,0382	0,2110
13	4	15	3	120	0,866	0,878	0,867	0,8702	0,0064	7,5404	7,3648	7,4047	7,4366	0,0920
15	4	15	4	168	0,87	0,888	0,872	0,8768	0,0097	8,1118	8,6371	7,9866	8,2452	0,3452
17	4	15	5	216	0,872	0,892	0,875	0,8793	0,0108	8,2609	9,0898	8,3210	8,5572	0,4622
21	4	15	6	312	0,871	0,891	0,871	0,8778	0,0111	8,2484	8,9552	7,9000	8,3679	0,5377
29	4	15	7	504	0,881	0,9	0,88	0,8873	0,0112	9,4907	10,1297	9,0144	9,5449	0,5596
6	5	15	8	672	0,858	0,899	0,86	0,8722	0,0230	6,6211	9,9584	6,4264	7,6687	1,9854
19	5	15	9	984	0,855	0,899	0,856	0,8696	0,0251	6,1491	9,9339	5,9435	7,3422	2,2469
28	5	15	10	1200	0,853	0,898	0,854	0,8684	0,0256	5,9379	9,8605	5,7949	7,1978	2,3071
4	6	15	11	1368	0,851	0,898	0,852	0,8671	0,0265	5,7391	9,8238	5,5473	7,0368	2,4156
17	6	15	12	1680	0,851	0,898	0,852	0,8669	0,0266	5,7019	9,8116	5,5225	7,0120	2,4262
30	6	15	13	1992	0,852	0,899	0,854	0,8682	0,0266	5,8261	9,9706	5,7207	7,1725	2,4239
13	7	15	14	2304	0,856	0,903	0,856	0,8717	0,0272	6,3106	10,4845	6,0302	7,6084	2,4947
18	8	15	15	3168	0,863	0,9	0,863	0,8753	0,0217	7,1429	10,1541	6,8722	8,0564	1,8217
2	10	15	16	4248	0,874	0,923	0,875	0,8907	0,0281	8,5963	12,9435	8,3210	9,9536	2,5930

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B100					B100				
					13F	14F	15F	Promedio F	Desviación estándar	13F	14F	15F	Promedio F	Desviación estándar
8	4	15	0	-9,5	0,805	0,809	0,832	0,8152	0,0145	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	0,844	0,852	0,871	0,8555	0,0139	4,8057	5,3309	4,6881	4,9415	0,3423
10	4	15	2	48	0,86	0,868	0,887	0,8719	0,0139	6,8049	7,4088	6,6595	6,9577	0,3973
13	4	15	3	120	0,891	0,895	0,916	0,9006	0,0138	10,6172	10,6494	10,1455	10,4707	0,2821
15	4	15	4	168	0,901	0,899	0,927	0,9089	0,0157	11,8838	11,1565	11,4196	11,4866	0,3683
17	4	15	5	216	0,91	0,899	0,936	0,9149	0,0190	12,9765	11,1936	12,5015	12,2239	0,9233
21	4	15	6	312	0,891	0,887	0,927	0,9019	0,0222	10,6917	9,6846	11,4797	10,6187	0,8998
29	4	15	7	504	0,898	0,883	0,936	0,9056	0,0275	11,4864	9,1899	12,5255	11,0673	1,7069
6	5	15	8	672	0,905	0,87	0,934	0,9030	0,0320	12,3805	7,6067	12,2731	10,7534	2,7257
19	5	15	9	984	0,904	0,868	0,934	0,9019	0,0327	12,2439	7,3964	12,2250	10,6218	2,7933
28	5	15	10	1200	0,904	0,87	0,933	0,9020	0,0315	12,2439	7,5572	12,1048	10,6353	2,6666
4	6	15	11	1368	0,904	0,867	0,932	0,9012	0,0328	12,2687	7,2356	12,0808	10,5284	2,8532
17	6	15	12	1680	0,906	0,869	0,934	0,9029	0,0329	12,5295	7,4212	12,2851	10,7453	2,8814
30	6	15	13	1992	0,907	0,87	0,936	0,9045	0,0332	12,6661	7,5943	12,5376	10,9327	2,8918
13	7	15	14	2304	0,909	0,872	0,939	0,9069	0,0335	12,9144	7,8912	12,8862	11,2306	2,8921
18	8	15	15	3168	0,914	0,879	0,945	0,9128	0,0328	13,5477	8,7570	13,5713	11,9587	2,7728
2	10	15	16	4248	0,924	0,89	0,954	0,9226	0,0320	14,7150	10,0804	14,6772	13,1576	2,6650

- Probetas tanque de combustible.
  Material: Polietileno de alta densidad (PEAD)

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B10					B10				
					1	2	3	Promedio	Desviación estándar	1	2	3	Promedio	Desviación estándar
8	4	15	0	0	7,1387	6,3326	6,0627	6,5113	0,5598	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	7,1663	6,3629	6,0977	6,5423	0,5564	0,3866	0,4785	0,5773	0,4808	0,0954
10	4	15	2	48	7,1993	6,3912	6,1263	6,5723	0,5589	0,8489	0,9254	1,0490	0,9411	0,1010
13	4	15	3	120	7,2075	6,3915	6,1277	6,5756	0,5629	0,9638	0,9301	1,0721	0,9887	0,0742
15	4	15	4	168	7,254	6,4024	6,1799	6,6121	0,5669	1,6151	1,1022	1,9331	1,5502	0,4192
17	4	15	5	216	7,2458	6,4065	6,1521	6,6015	0,5723	1,5003	1,1670	1,4746	1,3806	0,1855
21	4	15	6	312	7,2827	6,4368	6,2107	6,6434	0,5651	2,0172	1,6455	2,4412	2,0346	0,3981
29	4	15	7	504	7,2867	6,4462	6,2135	6,6488	0,5646	2,0732	1,7939	2,4873	2,1181	0,3489
6	5	15	8	672	7,2836	6,4662	6,207	6,6523	0,5619	2,0298	2,1097	2,3801	2,1732	0,1836
19	5	15	9	984	7,3121	6,4678	6,2152	6,6650	0,5744	2,4290	2,1350	2,5154	2,3598	0,1994
28	5	15	10	1200	7,3105	6,4774	6,2281	6,6720	0,5668	2,4066	2,2866	2,7282	2,4738	0,2283
4	6	15	11	1368	7,3675	6,499	6,2415	6,7027	0,5900	3,2051	2,6277	2,9492	2,9273	0,2893
17	6	15	12	1680	7,3496	6,5297	6,2537	6,7110	0,5700	2,9543	3,1125	3,1504	3,0724	0,1040
30	6	15	13	1992	7,3656	6,5055	6,2797	6,7169	0,5730	3,1784	2,7303	3,5793	3,1627	0,4247
13	7	15	14	2304	7,378	6,527	6,302	6,7357	0,5675	3,3522	3,0698	3,9471	3,4564	0,4478
18	8	15	15	3168	7,4035	6,5325	6,312	6,7493	0,5772	3,7094	3,1567	4,1120	3,6594	0,4796
2	10	15	16	4248	7,4031	6,5505	6,294	6,7492	0,5806	3,7038	3,4409	3,8151	3,6533	0,1921

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B25					B25				
					4	5	6	Promedio	Desviación estándar	4	5	6	Promedio	Desviación estándar
8	4	15	0	0	6,7502	8,2879	6,5186	7,1856	0,9616	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	6,7842	8,3186	6,5435	7,2154	0,9629	0,5037	0,3704	0,3820	0,4187	0,0738
10	4	15	2	48	6,8149	8,3392	6,5659	7,2400	0,9600	0,9585	0,6190	0,7256	0,7677	0,1736
13	4	15	3	120	6,8179	8,3455	6,5934	7,2523	0,9534	1,0029	0,6950	1,1475	0,9485	0,2311
15	4	15	4	168	6,8266	8,3714	6,6185	7,2722	0,9576	1,1318	1,0075	1,5325	1,2239	0,2744
17	4	15	5	216	6,8239	8,3812	6,5975	7,2675	0,9711	1,0918	1,1257	1,2104	1,1426	0,0611
21	4	15	6	312	6,843	8,3852	6,6226	7,2836	0,9604	1,3748	1,1740	1,5954	1,3814	0,2108
29	4	15	7	504	6,8624	8,3927	6,6588	7,3046	0,9478	1,6622	1,2645	2,1508	1,6925	0,4439
6	5	15	8	672	6,8806	8,432	6,6608	7,3245	0,9654	1,9318	1,7387	2,1815	1,9506	0,2220
19	5	15	9	984	6,9054	8,4554	6,7063	7,3557	0,9576	2,2992	2,0210	2,8795	2,3999	0,4380
28	5	15	10	1200	6,903	8,4514	6,6752	7,3432	0,9665	2,2636	1,9728	2,4024	2,2129	0,2192
4	6	15	11	1368	6,9076	8,4611	6,6991	7,3559	0,9628	2,3318	2,0898	2,7690	2,3969	0,3442
17	6	15	12	1680	6,9223	8,6611	6,7218	7,4351	1,0665	2,5496	4,5030	3,1172	3,3899	1,0048
30	6	15	13	1992	6,9327	8,592	6,7275	7,4174	1,0224	2,7036	3,6692	3,2047	3,1925	0,4829
13	7	15	14	2304	6,9533	8,492	6,7289	7,3914	0,9597	3,0088	2,4626	3,2262	2,8992	0,3934
18	8	15	15	3168	6,966	8,5174	6,7273	7,4036	0,9720	3,1969	2,7691	3,2016	3,0559	0,2484
2	10	15	16	4248	6,9801	8,5269	6,7485	7,4185	0,9669	3,4058	2,8837	3,5268	3,2721	0,3418

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B50					B50				
					7	8	9	Promedio	Desviación estándar	7	8	9	Promedio	Desviación estándar
8	4	15	0	0	8,9504	7,0321	8,3982	8,1269	0,9875	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	8,9791	7,0638	8,4287	8,1572	0,9861	0,3207	0,4508	0,3632	0,3782	0,0664
10	4	15	2	48	8,9841	7,0655	8,4337	8,1611	0,9879	0,3765	0,4750	0,4227	0,4247	0,0493
13	4	15	3	120	9,009	7,0849	8,4656	8,1865	0,9919	0,6547	0,7508	0,8026	0,7360	0,0750
15	4	15	4	168	9,0082	7,0925	8,4686	8,1898	0,9878	0,6458	0,8589	0,8383	0,7810	0,1175
17	4	15	5	216	9,0193	7,1001	8,4912	8,2035	0,9914	0,7698	0,9670	1,1074	0,9481	0,1696
21	4	15	6	312	9,0414	7,118	8,4862	8,2152	0,9899	1,0167	1,2215	1,0478	1,0954	0,1104
29	4	15	7	504	9,0678	7,1259	8,4927	8,2288	0,9975	1,3117	1,3339	1,1252	1,2569	0,1146
6	5	15	8	672	9,0714	7,1388	8,5095	8,2399	0,9941	1,3519	1,5173	1,3253	1,3982	0,1040
19	5	15	9	984	9,0796	7,1572	8,536	8,2576	0,9910	1,4435	1,7790	1,6408	1,6211	0,1686
28	5	15	10	1200	9,0931	7,159	8,5423	8,2648	0,9965	1,5943	1,8046	1,7158	1,7049	0,1055
4	6	15	11	1368	9,1048	7,1553	8,5502	8,2701	1,0045	1,7251	1,7520	1,8099	1,7623	0,0434
17	6	15	12	1680	9,1024	7,1773	8,566	8,2819	0,9935	1,6982	2,0648	1,9980	1,9204	0,1952
30	6	15	13	1992	9,117	7,1997	8,5725	8,2964	0,9880	1,8614	2,3834	2,0754	2,1067	0,2624
13	7	15	14	2304	9,1279	7,1899	8,5823	8,3000	0,9994	1,9832	2,2440	2,1921	2,1398	0,1381
18	8	15	15	3168	9,1424	7,206	8,595	8,3145	0,9982	2,1452	2,4729	2,3434	2,3205	0,1651
2	10	15	16	4248	9,1637	7,2185	8,6108	8,3310	1,0023	2,3831	2,6507	2,5315	2,5218	0,1340

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B75					B75				
					10	11	12	Promedio	Desviación estándar	10	11	12	Promedio	Desviación estándar
8	4	15	0	0	7,1115	6,9367	7,745	7,2644	0,4253	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	7,1385	6,9569	7,777	7,2908	0,4307	0,3797	0,2912	0,4132	0,3613	0,0630
10	4	15	2	48	7,1484	6,9649	7,7894	7,3009	0,4329	0,5189	0,4065	0,5733	0,4996	0,0850
13	4	15	3	120	7,1747	6,9945	7,7988	7,3227	0,4221	0,8887	0,8332	0,6946	0,8055	0,1000
15	4	15	4	168	7,1647	6,9998	7,7965	7,3203	0,4205	0,7481	0,9097	0,6649	0,7742	0,1244
17	4	15	5	216	7,1893	6,9935	7,8086	7,3305	0,4255	1,0940	0,8188	0,8212	0,9113	0,1582
21	4	15	6	312	7,1808	7,0069	7,8098	7,3325	0,4224	0,9745	1,0120	0,8367	0,9411	0,0923
29	4	15	7	504	7,1978	7,0214	7,8212	7,3468	0,4202	1,2135	1,2210	0,9839	1,1395	0,1348
6	5	15	8	672	7,2244	7,0311	7,8371	7,3642	0,4208	1,5876	1,3609	1,1892	1,3792	0,1998
19	5	15	9	984	7,2422	7,0323	7,8596	7,3780	0,4301	1,8379	1,3782	1,4797	1,5652	0,2415
28	5	15	10	1200	7,2365	7,0494	7,8707	7,3855	0,4305	1,7577	1,6247	1,6230	1,6685	0,0773
4	6	15	11	1368	7,2459	7,0573	7,86	7,3877	0,4197	1,8899	1,7386	1,4848	1,7044	0,2047
17	6	15	12	1680	7,2408	7,0614	7,8778	7,3933	0,4290	1,8182	1,7977	1,7147	1,7768	0,0548
30	6	15	13	1992	7,2632	7,0652	7,8754	7,4013	0,4224	2,1332	1,8525	1,6837	1,8898	0,2271
13	7	15	14	2304	7,2732	7,0691	7,8775	7,4066	0,4204	2,2738	1,9087	1,7108	1,9644	0,2856
18	8	15	15	3168	7,2757	7,0823	7,8979	7,4186	0,4262	2,3089	2,0990	1,9742	2,1274	0,1692
2	10	15	16	4248	7,2879	7,1149	7,9259	7,4429	0,4271	2,4805	2,5689	2,3357	2,4617	0,1178

Dia	Mes	Año	Dia	Horas acumuladas	PESO (g)					VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO (%)				
					B100					B100				
					13	14	15	Promedio	Desviación estándar	13	14	15	Promedio	Desviación estándar
8	4	15	0	0	7,6396	7,0304	8,0573	7,5758	0,5164	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	4	15	1	24	7,6685	7,0623	8,0835	7,6048	0,5136	0,4537	0,4537	0,3252	0,4109	0,0742
10	4	15	2	48	7,6698	7,0624	8,084	7,6054	0,5138	0,4552	0,4552	0,3314	0,4139	0,0715
13	4	15	3	120	7,6749	7,0733	8,0957	7,6146	0,5139	0,6102	0,6102	0,4766	0,5657	0,0771
15	4	15	4	168	7,6816	7,0894	8,1074	7,6261	0,5113	0,8392	0,8392	0,6218	0,7667	0,1255
17	4	15	5	216	7,6874	7,0997	8,1219	7,6363	0,5130	0,9857	0,9857	0,8018	0,9244	0,1062
21	4	15	6	312	7,6134	7,0968	8,1156	7,6086	0,5094	0,9445	0,9445	0,7236	0,8708	0,1275
29	4	15	7	504	7,6228	7,1035	8,1175	7,6146	0,5070	1,0398	1,0398	0,7471	0,9422	0,1689
6	5	15	8	672	7,6324	7,1113	8,1292	7,6243	0,5090	1,1507	1,1507	0,8924	1,0646	0,1492
19	5	15	9	984	7,7233	7,1202	8,1439	7,6625	0,5146	1,2773	1,2773	1,0748	1,2098	0,1169
28	5	15	10	1200	7,7283	7,1239	8,1583	7,6702	0,5196	1,3299	1,3299	1,2535	1,3045	0,0441
4	6	15	11	1368	7,7252	7,1388	8,1508	7,6716	0,5081	1,5419	1,5419	1,1604	1,4147	0,2202
17	6	15	12	1680	7,7273	7,1398	8,1501	7,6724	0,5074	1,5561	1,5561	1,1518	1,4213	0,2335
30	6	15	13	1992	7,7394	7,1498	8,1599	7,6830	0,5074	1,6983	1,6983	1,2734	1,5567	0,2454
13	7	15	14	2304	7,7424	7,1525	8,1666	7,6872	0,5093	1,7367	1,7367	1,3565	1,6100	0,2195
18	8	15	15	3168	7,7517	7,1563	8,1817	7,6966	0,5149	1,7908	1,7908	1,5439	1,7085	0,1425
2	10	15	16	4248	7,7653	7,1667	8,1901	7,7074	0,5142	1,9387	1,9387	1,6482	1,8419	0,1677

Anexo B: Resultados ensayos de tracción

Ensayo de tracción de mangueras

- Manguera de PVC

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima (N)	Sigma Máximo (Mpa)	Promedio Sigma Máximo (Mpa)	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado (Mpa)	Error estándar Módulo de Young	Promedio Módulo de Young (Mpa)
Aire	21A	942,4434	1001,6479	22,3911	23,7978	4,1687	4,8641	16,5526	0,1581	16,1850
	22A	1009,1320		23,9756		4,9250		16,7903	0,161	
	23A	1024,4290		24,3390		5,1875		14,9835	0,1433	
	24A	1030,5870		24,4853		5,1750		16,4137	0,1507	
10%	1A	875,4883	865,0272	20,8004	20,5519	2,9563	2,9516	20,4223	0,1473	20,2402
	2A	905,1706		21,5056		3,3000		19,8019	0,1814	
	3A	831,9435		19,7658		2,6500		20,4863	0,1863	
	4A	847,5064		20,1356		2,9000		20,2503	0,1612	
25%	5A	859,1938	920,2218	20,4133	21,8632	2,925	3,4453	19,759	0,1685	19,7028
	6A	950,9790		22,5940		3,8		19,4735	0,1736	
	7A	894,5315		21,2528		3,1687		20,3687	0,1924	
	8A	976,1829		23,1928		3,8875		19,2098	0,1676	
50%	9A	959,1291	964,0589	22,7876	22,9047	3,5375	3,5516	16,608	0,1359	17,1671
	10A	951,9744		22,6176		3,4687		17,0248	0,151	
	11A	959,4505		22,7952		3,525		17,4334	0,1519	
	12A	985,6814		23,4184		3,675		17,6022	0,1485	
75%	13A	986,0638	995,0722	23,4275	23,6415	3,2125	3,2938	16,7652	0,1284	16,9211
	14A	1029,013		24,4479		3,5813		17,8292	0,1464	
	15A	1011,512		24,0321		3,3562		16,7289	0,1243	
	16A	953,7		22,6586		3,025		16,3611	0,1187	
100%	17A	1000,858	1000,4141	23,8503	23,7863	3,1938	3,1047	12,8064	0,0784	12,9711
	18A	979,6584		23,2753		3,0125		12,6206	0,0887	
	19A	1037,089		24,6398		3,2813		13,1385	0,0562	
	20A	984,0509		23,3797		2,9313		13,3189	0,0612	

- Manguera de Tela de Poliéster

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima (N)	Sigma Máximo (Mpa)	Promedio Sigma Máximo (Mpa)	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado (Mpa)	Error estándar Módulo de Young	Promedio Módulo de Young (Mpa)
Aire	21N	604,4665	589,9574	8,3513	8,1508	4,9375	4,7328	1,8677	0,0059	1,9270
	22N	582,0527		8,0416		4,5625		2,0242	0,0066	
	23N	594,522		8,2139		4,8188		1,9211	0,0061	
	24N	578,7882		7,9965		4,6125		1,8951	0,0064	
10%	1N	529,9035	586,8226	7,3211	8,1075	3,9062	4,4922	2,3564	0,0047	2,1836
	2N	586,4884		8,1029		4,4375		2,1262	0,0032	
	3N	616,8795		8,5228		4,8312		2,0739	0,0092	
	4N	614,0188		8,4833		4,7937		2,1779	0,0118	
25%	5N	585,7595	580,5491	8,0928	8,0209	3,925	3,8844	2,5354	0,0142	2,5107
	6N	587,7681		8,1206		3,9438		2,5552	0,0112	
	7N	574,5312		7,9377		3,7688		2,5321	0,0127	
	8N	574,1375		7,9323		3,9		2,4199	0,0175	
50%	9N	510,9875	492,3091	7,0598	6,7943	3,0437	2,9156	2,4562	0,0153	2,5550
	10N	474,5342		6,5262		2,7563		2,6699	0,0126	
	11N	466,9313		6,4511		2,7437		2,6421	0,0096	
	12N	516,7834		7,1399		3,1188		2,4519	0,0126	
75%	13N	403,6258	400,7029	5,5765	5,5361	2,95	2,8813	2,1809	0,0106	2,2492
	14N	423,1194		5,8458		3,1062		2,0964	0,0087	
	15N	334,0699		4,6155		2,3438		2,4701	0,0168	
	16N	441,9966		6,1066		3,125		2,2494	0,0115	
100%	17N	224,006	198,7913	3,0949	2,7465	2,9938	2,6500	1,4217	0,0082	1,3809
	18N	191,9529		2,652		2,5375		1,4064	0,0074	
	19N	211,7605		2,9257		2,8875		1,2589	0,0076	
	20N	167,4456		2,3134		2,1813		1,4365	0,0064	

Ensayo de tracción de o'rings

- O 'ring de VITON (marrón)

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima	Sigma Máximo	Promedio Sigma Máximo	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado	Error estándar Módulo de	Promedio Módulo de
Aire	21	55,9057	57,3713	8,8976	9,1309	1,7083	1,8646	7,8213	0,0849	7,7961
	22	58,5209		9,3139		1,8333		7,8938	0,0838	
	23	56,5685		9,0031		1,9167		7,9463	0,2182	
	24	58,49		9,309		2		7,5228	0,2743	
10%	1	42,0573	44,0304	6,6936	7,1755	2,2917	2,4271	4,906	0,1116	4,6410
	2	43,6588		6,9485		2,2917		4,6258	0,1006	
	3	44,4511		7,746		2,5		4,582	0,0397	
	4	45,9543		7,3138		2,625		4,4502	0,1431	
25%	5	45,0077	45,3006	7,1632	7,2098	1,3333	2,0313	7,2926	0,2311	5,5220
	6	45,0742		7,1738		2,5833		4,8628	0,08	
	7	47,9811		7,6364		1,7917		5,3557	0,1962	
	8	43,1394		6,8658		2,4167		4,5767	0,1017	
50%	9	46,7434	44,0300	7,4394	7,0076	2,7083	2,4375	4,441	0,1215	4,5310
	10	43,8364		6,9768		2,5		4,8188	0,1928	
	11	41,7183		6,6397		2,2917		4,2543	0,0701	
	12	43,8217		6,9744		2,25		4,6099	0,0989	
75%	13	48,9142	50,0291	7,7849	7,9624	1,5833	1,9583	7,3573	0,119	6,6910
	14	42,1597		6,7099		2,333		4,6157	0,1031	
	15	53,5651		8,5251		1,875		7,3835	0,2544	
	16	55,4774		8,8295		2,0417		7,4074	0,1254	
100%	17	47,6654	47,1066	7,5862	7,4972	1,4583	1,6354	7,6868	0,3123	7,1879
	18	44,6977		7,1138		1,4167		7,612	0,2739	
	19	43,0019		6,8439		1,9167		5,7406	0,152	
	20	53,0614		8,445		1,75		7,7122	0,0503	

- O 'ring de VITON (verde chico)

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima (N)	Sigma Máximo (Mpa)	Promedio Sigma Máximo (Mpa)	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado (Mpa)	Error estándar Módulo de Young	Promedio Módulo de Young (Mpa)
Aire	11VC	71,1641	70,4704	11,3732	11,2395	2,625	2,7084	5,4451	0,1073	5,5678
	12VC	69,7767		11,1058		2,7917		5,6904	0,1543	
10%	1VC	28,2924	34,1019	4,495	5,4236	1,5833	2,1875	6,2928	0,2456	6,1796
	2VC	39,9114		6,3521		2,7917		6,0663	0,3718	
25%	3VC	65,857	48,1421	10,4819	7,6625	2,5	2,1459	4,9504	0,1032	4,9945
	4VC	30,4272		4,8431		1,7917		5,0386	0,1137	
50%	5VC	68,347	50,6850	10,8782	8,0668	2,5833	2,3125	5,1636	0,1588	5,2196
	6VC	33,0229		5,2553		2,0417		5,2756	0,191	
75%	7VC	32,27	43,295	5,1359	6,8906	2,0417	2,000	4,7701	0,202	4,9522
	8VC	54,32		8,6453		1,9583		5,1342	0,0639	
100%	9VC	62,0025	49,2352	9,8676	7,836	2,3333	2,5208	5,1252	0,116	4,8220
	10VC	36,4679		5,8044		2,7083		4,5188	0,2065	

- O 'ring de VITON (verde grande)

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima (N)	Sigma Máximo (Mpa)	Promedio Sigma Máximo (Mpa)	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado (Mpa)	Error estándar Módulo de Young	Promedio Módulo de Young (Mpa)
Aire	11VG	64,4888	63,8495	10,2637	10,1620	2,6111	2,5695	10,7156	0,3568	10,3914
	12VG	63,2101		10,0602		2,5278		10,0671	0,3056	
10%	1VG	50,0433	53,7592	7,9646	8,5560	2,8056	2,7084	7,3151	0,1686	7,4146
	2VG	57,4752		9,1474		2,6111		7,5141	0,2364	
25%	3VG	46,2295	47,9860	7,3576	7,6372	2,3889	2,4723	8,164	0,2152	8,0530
	4VG	49,7425		7,9167		2,5556		7,942	0,2545	
50%	5VG	42,6435	47,6206	6,7869	7,5791	2,3333	2,6528	7,3103	0,1887	7,5027
	6VG	52,5977		8,3712		2,9722		7,695	0,3364	
75%	7VG	57,3578	61,4512	9,1288	9,7803	2,1389	2,4167	10,3149	0,3369	9,9946
	8VG	65,5445		10,4317		2,6944		9,6743	0,412	
100%	9VG	59,3176	54,9175	9,4407	8,7404	2,2778	2,0973	9,8112	0,0907	9,5246
	10VG	50,5173		8,0401		1,9167		9,238	0,4174	

- O ‘ring de NBR

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima (N)	Sigma Máximo (Mpa)	Promedio Sigma Máximo (Mpa)	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado (Mpa)	Error estándar Módulo de Young	Promedio Módulo de Young (Mpa)
Aire	16F	186,5178	179,8963	29,6852	28,6313	2,55	2,6167	13,3213	0,0406	12,7210
	17F	159,5252		25,3892		2,75		10,9337	0,0292	
	18F	193,6459		30,8196		2,55		13,9081	0,0415	
10%	1F	183,454	159,8193	29,1975	25,4360	2,4833	2,3778	13,6203	0,0545	12,4124
	2F	144,8623		23,0555		2,05		12,9545	0,0403	
	3F	151,1416		24,0549		2,6		10,6625	0,0281	
25%	4F	162,8146	164,3462	25,9127	26,1565	2,4167	2,5722	12,7579	0,0391	12,0640
	5F	166,7929		26,5459		2,45		12,586	0,051	
	6F	163,431		26,0108		2,85		10,8481	0,0359	
50%	7F	139,4697	150,0774	22,1972	23,8855	2,6333	2,7944	11,0947	0,0376	11,1660
	8F	150,3899		23,9352		2,7333		11,4518	0,0546	
	9F	160,3726		25,524		3,0167		10,9515	0,0422	
75%	10F	116,0583	135,2835	18,4712	21,5310	2,2833	2,4333	11,2056	0,0552	11,5737
	11F	135,4541		21,5581		2,2667		11,6548	0,0321	
	12F	154,3382		24,5636		2,75		11,8607	0,0465	
100%	13F	103,6759	119,2849	16,5005	18,9847	1,85	2,0556	11,9357	0,0433	11,6704
	14F	112,003		17,8258		2,1		10,768	0,0691	
	15F	142,1757		22,6279		2,2167		12,3074	0,0564	

Ensayo de tracción probetas tanque de combustible

Corte	Probeta	Carga Máxima (N)	Promedio Carga Máxima (N)	Sigma Máximo (Mpa)	Promedio Sigma Máximo (Mpa)	Deformación a la rotura	Promedio def. a la rotura	Módulo de Young aproximado (Mpa)	Error estándar Módulo de Young	Promedio Módulo de Young (Mpa)
Aire	16	463,3671	463,3671	23,1684	23,1684	0,5	0,5	687,45	36,37	687,45
10%	1	534,2[illegible]3	522,6189	26,7115	24,3100	0,5833	0,3889	715,09	11,09	662,5100
	2	564,4933		22,7618		0,2639		655,8	6,36	
	3	469,1342		23,4567		0,3194		616,64	9,61	
25%	4	603,0105	602,8468	23,1927	24,4452	0,6111	0,4444	585,28	1,55	644,4367
	5	663,3029		23,0314		0,3889		624,31	1.00	
	6	542,227		27,1114		0,3333		723,72	7,92	
50%	7	817,8068	747,3606	27,2602	25,6964	0,6667	0,4583	714,59	21,94	674,9167
	8	717,0499		25,6089		0,3333		675,1	14,26	
	9	707,225		24,22		0,375		635,06	15,93	
75%	10	500,7536	574,1969	21,5842	22,4343	1,1528	0,6343	547,04	17,93	596,4400
	11	621,7017		24,2852		0,4861		642,24	18,97	
	12	600,1353		21,4334		0,2639		600,04	25,74	
100%	13	645,8424	618,8027	23,0658	26,0349	0,2778	0,4074	521,35	0	618,2433
	14	678,5213		33,9261		0,5278		814,04	57,13	
	15	532,0443		21,1129		0,4167		519,34	27,09	