

Propiedades y características de combustibles diesel y biodiesel

1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

El Diesel es un combustible derivado del petróleo.

El Biodiesel es un combustible derivado de aceites vegetales que puede reemplazar al gasoil mineral.

Todos los combustibles fósiles son contaminantes del medio ambiente a través de los gases que salen del escape. El gasoil mineral, no escapa a esta regla.

1. Uno de los contaminantes más importantes es el azufre. El azufre sale por el conducto de escape como óxido de azufre (SO_x), el cual con la humedad del aire se convierte en ácido sulfúrico, contribuyendo a la generación de lluvia ácida. Existe una tendencia mundial a reducir el contenido de azufre permitido en los combustibles. En Estados Unidos se está regulando para que en el año 2006 todo gasoil que se expenda debe tener 0 de azufre. En Europa se va por el mismo camino. Los fabricantes de motores diesel también están muy interesados en que se reduzca debido a que el azufre ocasiona un fuerte ataque químico en la bomba inyectora, válvula de escape, colector de gases de escape, turbina, etc, sobre todo en los motores con turbo-inyección.
2. Otro contaminante es el nitrógeno. Sin embargo es justo reconocer que en los gases de escape el contenido de óxidos nitrosos es levemente superior cuando se usa biodiesel (un 10 %) que en los humos de un motor que está utilizando gasoil mineral. Los óxidos nitrosos también son precursores de la lluvia ácida (generan ácido nítrico), pero en el balance general al comparar la suma de los efectos de SO_x y NO_x del 100 % de biodiesel (B100) con 100% de gasoil, vemos que el biodiesel es menos contaminante.
3. Ahora bien, en los otros contaminantes, el biodiesel es francamente menos contaminante. No tiene aromáticos polinucleares. El contenido de combustible no quemado y el monóxido de carbono presente en los gases de escape es

menor y también las partículas y los aldehídos. Si se observa un motor funcionando con biodiesel, se nota la ausencia de humo negro en el escape y un leve olor a frituras (si se usa biodiesel derivado de aceites vegetales usados).

Hay que decir que no se puede hacer una comparación absoluta de si es mejor o es peor el biodiesel que el diesel convencional. En líneas generales se puede decir que es similar, a veces mejor, otras no tanto. Depende de que biodiesel se use para realizar la comparación y con qué gasoil se le compare.

La calidad del biodiesel depende de dos factores importantes.

- Tipo de aceite de origen.
- Calidad de fabricación.

El gasoil también posee diferentes calidades en función del proceso realizado en la refinería y si en la misma el gasoil fue aditivado para mejorar el índice cetano. Las normas exigen que el índice cetano mínimo sea 40. Generalmente el gasoil que se expende en el mercado tiene por encima de 50, y en algunos casos en los que se ha utilizado un buen aditivo supera los 50 e incluso los 55. El biodiesel tiene en general más de 50, pero también depende del aceite con que se ha fabricado. Otro aspecto, que afecta al consumo específico, es el poder calorífico, el cual es un poco inferior al del gasoil. Respecto al motor en el cual se va a utilizar el biodiesel, en general no requieren grandes modificaciones, salvo cambios de ciertos metales que se disuelven con el biodiesel (Cu) y de juntas poco resistentes por unas de mejor material (Vitón). Esto es debido al alto poder solvente del metil éster. Debido a estas capacidades solvente y detergente tan altas, el biodiesel elimina toda la suciedad y a veces algo de pintura de los tanques y conductos de combustible, en aquellos motores que han usado tradicionalmente gasoil y de pronto comienzan a usar biodiesel. Esto obliga en un principio a limpiezas periódicas de los filtros de combustible. Por ser un producto de mayor peso molecular y mayor temperatura de ebullición promedio, suele haber pequeñas cantidades que se escurren por las paredes y pasan al cárter. No afecta mayormente al lubricante, debido a que el biodiesel tiene un muy buen poder

lubricante, pero la disminución de la viscosidad podría ocasionar cambios mas frecuentes del aceite. Siempre conviene consultar al fabricante.

A la hora de usar biodiesel se deben considerar varios aspectos: Uno es el punto de vista de la menor contaminación, en el cual el biodiesel se impone. Otro es el comportamiento en los motores donde las ventajas y desventajas están equilibradas. Finalmente, hay otro aspecto importante, que es el del costo del biodiesel comparado con el gasoil. Este es un tema complejo y cambiante, donde intervienen varios factores, como ser los costos de fabricación, los impuestos, la materia prima, etc.

2. CARACTERÍSTICAS DEL DIESEL Y BIODIESEL

2.1. PROPIEDADES DEL DIESEL

Un gasoil esta compuesto principalmente por compuestos parafínicos, naftalénicos y aromáticos. El número de carbonos es bastante fijo y se encuentra entre el C₁₀ y C₂₂.

2.2. PROPIEDADES DEL BIODIESEL

Los componentes básicos de los aceites y grasas son los triglicéridos, los cuales provienen tanto de ácidos grasos saturados como insaturados. Dependiendo de estas y otras características del origen de los triglicéridos se obtendrá un biodiesel con unas cualidades u otras.

En la Tabla 1 se presentan diferentes composiciones de ácidos grasos de diferentes orígenes.

Tabla 1. Composiciones de diferentes fuentes de ácidos grasos.

	C14:0 Mirístico	C16:0 Palmítico	C16:1	C17:0 Magárico	C18:0 Esteárico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico	C18:3 Linoléico	C20:0	C20:1	C22:0	C22:1
SME		12,98,9			5,20,8	23,819,1	46,655,6	7,810,2	0,3	0,2	0,3	
HySEE		10,3			15	24,6	48,6		0,3			
SEE		10			3,8	18,9	55,7	10,2		0,2	0,3	
SIE		10,98			3,79	20,35	55,89	8,99				
TME	3	23,3			17,9	38						
TEE	3,38	26,97	2,29	1,22	24,56	39,06	2,53					
TIE	3,4	27,09	2,39	1,26	24,31	39	2,55					
GEE	0,72	14,33	1,33		9,22	47,01	25,27	2,32				
MP	1,3	97,5			1,2							
IP	1,1	96,2			2,8							
ME		1,6			97,2			1,2				
IE		1,2			97,7			1,1				
MO		0,8			2,9	91,9	4,5					
HO-SFME							0,57					
SFME		6,6			2,4	13,4	77,1	0,2	0,3			
LME		5,3			3,1	18,7	16,7	56,2				
RME		2,2			0,9	12,6	12,1	8		7,4	0,7	49,5
REE		2,6			0,9	12,8	11,9	7,7		7,3	0,7	49,5
CME		4			2,4	65	17,3	7,8		1,3	0,4	0,1
CEE		4			2,4	65,1	17,4	7,6		1,3	0,4	0,2
MWF		10,1			3,8	20,5	56,1	8,8				
CACAHUETE		9,0			3,3	64,8	17,7		1,3		2,6	
MAIZ		10,1			2,0	27,1	56,7	0,4	0,2		0,1	
SESAMO		9,2			6,3	44,4	39,4		0,5		0,2	
NUEZ		7,2			2,7	17,2	60,1	11,6		0,1		
SEMILLA LUYA		7,2	0,1		3,9	19,9	67,3	0,1		0,1		
SME	Ester metílico de la soja				MO							
HySEE	Ester etílico Hidrogenado de la soja				HO-SFME							
SEE	Ester Etílico de la soja				SFME							
SIE	Ester Isopropílico de la soja				LME							
TME	Ester Metílico del sebo de vaca				RME							
TEE	Ester etílico del sebo de vaca				REE							
TIE	Ester Isopropílico del sebo de vaca				CME							
GEE	Ester Etílico de la grasa				CEE							
MP	Metil Palmitato				MWF							
IP	Isopropil Palmitato											
ME	Metil Estearato											

2.3. ESPECIFICACIONES DEL DIESEL

En la Tabla 2 se hace una comparativa entre las propiedades de un biodiesel y un diesel. Como se observa, algunas son muy parecidas, pero otras difieren bastante. Estas últimas van a ser las causantes de la mayor parte de los problemas asociados al motor por el uso de este tipo de biocombustibles.

Tabla 2 : Especificaciones para el uso de un Diesel y el Biodiesel.

Parámetro	Norma	Unidades	UNE EN 590*	Limite
			Diesel #2	CEN/TC 19** Biodiesel
Densidad (15°C)	EN ISO 12185	g/cm ³	0.820-0.845	0.860-0.900
Viscosidad Cinemática 40°C	EN ISO 3104	cSt	2.0-4.5	3.5-5.0
Punto Inflamación	EN 22719 ISO/CD 3679	°C	55 min.	101 min.
Azufre	EN ISO 14596	ppm	350 máx.	10 máx.
Residuo Carbonoso(10%)	EN ISO 10370	%	0.30 máx.	0.30 máx.
Contaminación Total	EN 12662	ppm	24 máx.	24 máx.
Agua	EN ISO 12937	ppm	200 máx.	500 max.
Corrosión al cobre	EN ISO 2160	-	Clase 1	Clase 1
Cenizas Sulfatadas	EN ISO 6245 ISO 3987	%	0.01 máx.	0.02 máx.
Estabilidad Oxidación	EN ISO 12205 prEN 14112	mg/l	25 máx.	6 h min.
Número de Cetano	EN ISO 5165	-	51 min.	51 min.
Índice de Cetano	EN ISO 4264	-	46 min.	

* Límites Julio 2000

** Límites Mayo 2001

Vemos en la Tabla 2, la comparación del Biodiesel con un gasoil. De ella se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La densidad y la viscosidad cinemática aumentan notablemente respecto al gasoil.
- El punto de fusión es más favorable para el gasoil frente al biodiesel. Esto es sobre todo importante en las regiones frías.
- El índice cetano, que tiene que ver con el funcionamiento de los motores es superior en el metil éster respecto del gasoil. Esta diferencia se hace más notable en aquellos metilésteres con mayor cantidad de ácidos grasos saturados y se constituyen en buenos aditivos para mejorar el índice de cetano.
- La destilación en general no está tomada en cuenta en las normas de especificación, porque el Metiléster (en realidad una mezcla de metil ésteres) tiene un rango muy estrecho.
- El Punto de inflamación es muy superior al del gasoil, por lo que le garantiza un manejo mucho mas seguro en el manipuleo y almacenaje.
- El azufre no está presente.
- El poder calorífico no se modifica notablemente, aunque es menor en el Biodiesel.

2.4. ESPECIFICACIONES DEL BIODIESEL

Se deben realizar una serie de ensayos para comprobar:

- 1 Calidad del combustible.
- 2 Nivel de impurezas remanentes en el proceso de producción del Biodiesel.

Para ello existen diferentes normativas tanto en el ámbito de países europeos (Austria, Francia, Italia,...) como en el ámbito americano (ASTM y NBB) y europeo (EN). Las especificaciones propuestas por algunos de estos comités son las que se describen en la Tabla 3.

Tabla 3 : Especificaciones para el uso de biodiesel.

Parámetro	Norma	Unidades	ASTM PS 121:99*	Limite CEN/TC 19**	Limite NBB***
Densidad (15°C)	ASTM D 1298 EN ISO 12185	g/cm3	0.860-0.900	0.860-0.900	
Viscosidad Cinemática 40°C	ASTM D 445 EN ISO 3104	cSt	1.9-6.0	3.5-5.0	1.9-6.0
Punto Inflamación V/C	ASTM D 93 ISO/CD 3679	°C	100 min.	101 min.	130 min.
POFF	IP 309	°C	Usuario	Usuario	Usuario
Punto de Nube	ASTM D 2500	°C	Usuario	Usuario	Usuario
Azufre	ASTM D 5453 UNE EN ISO 14596	%	0.05 max.	10 ppm max.	0.05 máx.
Residuo Carbonoso	ASTM D 4530 EN ISO 10370	%	0.05 max.	0.3 máx. (10%)	0.05 máx.
Agua y Sedimentos	ASTM D 2709	%	0.050 max.		0.05 máx.
Estabilidad Oxidación	prEN 14112	horas		min. 6	
Destilación 90%	ASTM D 86	°C	345 máx.		360 máx.
Agua	ASTM D 1533 EN ISO 12937			500 máx.	
Contaminación total	EN 12662	mg/kg		max. 24	
Corrosión al cobre	ASTM D 130 EN ISO 2160	-	Nº 3 máx.	Clase 1	Nº 3 máx.
Cenizas Sulfatadas	ASTM D 874 ISO 3987	%	0.02 máx.	0.02 máx.	0.02 max.
TAN	ASTM D 664 prEN 14104	mg KOH/g	0.80 max.	0.5 max.	0.80 max.
Metanol	prEN 14110	% (m/m)	0.2 máx.	0.2 máx.	
Monoglicéridos	prEN 14105	% (m/m)	0.8 máx.	0.8 máx.	
Diglicéridos	prEN 14105	% (m/m)	0.2 máx.	0.2 máx.	
Triglicéridos	prEN 14105	% (m/m)	0.2 máx.	0.2 máx.	
Glicerina Libre	ASTM D 6584 prEN 14105-06	% (m/m)	0.020 max.	0.02 max	0.020 max.
Glicerol Total	ASTM D 6584 prEN 14105	% (m/m)	0.240 máx.	0.250 máx.	0.240 máx.
Contenido en Éster	prEN 14103	% (m/m)		min. 96.5	
Éster metílico del ác. linoléico	prEN 14103	% (m/m)		máx. 12	
Ésteres metílicos poli-insaturados (≥4 dobles enlaces)		% (m/m)		máx. 1	
Índice de Yodo	prEN 14111	-	110 máx.	120 máx.	
Fósforo	ASTM D 4951 prEN 14107	mg/kg		10 máx.	10 máx.
Sodio + Potasio	prEN 14108-09	mg/kg		5 máx.	
Número de Cetano	ASTM D 613 EN ISO 5165	-	40 min.	51 min.	47 min.

* Límites 1999

** Límites Mayo 2001

*** Límites Diciembre 2001

2.5. Propiedades del diesel y biodiesel

Las propiedades de un Diesel y Biodiesel comerciales dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido en el caso del último. El Biodiesel en función de la naturaleza de la fuente, animal o vegetal, proporcionará unas características particulares al nuevo combustible:

- Punto de Inflamación. Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención en el caso del biosiesel.
- Viscosidad. Debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y en el inyector. Además, le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por la otra parte también se limita la viscosidad máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores, y en las características del sistema de inyección.
- Densidad. Da idea del contenido en energía del combustible. Mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor.
- Cenizas Sulfatadas. Los materiales que forman cenizas en un Biodiesel se pueden presentar de tres formas:
 - * Sólidos abrasivos,
 - * Jabones metálicos solubles,
 - * Catalizadores no eliminados en el proceso.

En el caso del diesel, normalmente solo aparecen los primeros o gomas solubles.

Tanto los sólidos abrasivos como los catalizadores no eliminados favorecen al

desgaste del inyector, bomba de inyección, pistón y anillos, además de contribuir a la formación de depósitos en el motor.

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

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

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

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

- Índice de Yodo. Indica la tendencia a la oxidación de un biodiesel porque da idea del grado de insaturaciones que poseen sus ésteres.

- Punto de Nube. Indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos del combustible (parafinas, materia insaponificable,...). Es una medida muy importante a tener en cuenta cuando se usa el motor en climas fríos. El valor debe ser definido por el usuario, ya que depende del clima en el cual el motor se utilice.

- Agua y Sedimentos.

El *Agua* se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento. La presencia de agua y sólidos de desgaste normalmente pueden colmatar filtros y darle el combustible unas propiedades de lubricidad menores. El biodiesel puede absorber hasta 40 veces más agua que el diesel.

El agua puede provocar dos problemas en el motor.

- * Corrosión en los componentes del motor, generalmente herrumbre. El agua se acidifica y acaba atacando a los tanques de almacenamiento.
- * Contribuye al crecimiento de microorganismos (fungi, bacterias,...). Forman lodos y limos que pueden colmatar los filtros. Además, algunos de estos microorganismos pueden convertir el azufre que posea el combustible en ácido sulfúrico, que corroe la superficie metálica del tanque.

El agua se puede presentar en el tanque de dos formas:

- * Disuelta en el combustible. La cantidad de agua depende de la solubilidad de esta en el biodiesel.
- * Separada de la fase de combustible en forma libre. La cantidad de esta depende de cómo se manipule y transporte el combustible.

Los *Sedimentos* pueden ser debidos principalmente a un mal proceso de purificación del combustible o contaminación. Afectan principalmente a la temperatura de cristalización y al Número de Cetano.

- Residuo Carbonoso. Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Se aproxima a la tendencia del motor a formar depósitos. Normalmente para el Diesel se suele utilizar el 10% que queda en la destilación, pero debido a que el Biodiesel tiene un perfil muy diferente de destilación (en un pequeño rango de temperaturas se destila todo la muestra ya que posee una distribución de moléculas diferentes muy pequeña), se debe utilizar el 100% de la muestra.

También se puede obtener información, a parte de la contaminación (glicerina libre y total), de la calidad de la purificación del biodiesel cuando se fabrica.

- Destilación. Indica la temperatura máxima a la que se debe evaporar el

combustible a unas condiciones de presión y temperaturas dadas.

- * El biodiesel a la temperatura de 360°C tiene que estar el 90% destilado, según la norma ASTM D1160.
- * El diesel a la temperatura de 360°C tiene que estar el 95% destilado, según la norma ASTM D86.

- Número Ácido, TAN. Determina el nivel de ácidos grasos, ó generados por degradación, que se presentan en el combustible. Si posee un alto grado de acidez se formaran una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema.

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

- Lubricidad. Es la cualidad de un líquido para proporcionar una lubricación adecuada para prevenir el desgaste entre dos superficies en movimiento. Los combustibles con un contenido bajo en azufre o baja viscosidad tienden a tener una lubricidad menor.

- Glicerina Libre. Determina el nivel de glicerina no enlazada presente en el Biodiesel. Su presencia normalmente se debe a una mala purificación del biodiesel. Niveles altos pueden causar problemas de depósitos en el inyector, así como colmatación de filtros. Pueden dañar los sistemas de inyección debido a los compuestos inorgánicos y jabones que se acumulan en la glicerina. Si la cantidad de glicerina es superior al 0.5% esta puede afectar al contenido del residuo carbonoso.

- Glicerina Total. Determina el nivel de glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible. Niveles bajos significan que se he producido un alto grado de conversión en el aceite o grasa, y se han formado gran cantidad de monoésteres. Niveles altos de mono, di y triglicéridos pueden provocar la

colmatación de los filtros, depósitos carbonosos en los inyectores y pueden afectar adversamente a las propiedades a bajas temperaturas. Esto es debido a que al poseer temperaturas de ebullición superiores provocan que la combustión sea bastante peor. Además, aumentan la viscosidad del biodiesel.

- Contenido en alcohol. Puede provocar problemas de lubricidad y en el Número de Cetano. Desde el punto de vista de la seguridad el Punto de Inflamación disminuye. Por otro lado, junto a la presencia de alcohol puede venir asociada glicerina disuelta en este con los consiguientes problemas antes comentados.

- Estabilidad a la Oxidación. Se determina la vida de almacenamiento y la degradación potencial de un combustible durante su almacenamiento.

La oxidación de un combustible suele venir acompañada de la formación de gomas solubles e insolubles que pueden actuar de la siguiente manera:

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

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

Hay que tener en cuenta que el biodiesel se puede usar puro o mezclado con el gasoil. Esto hará que las propiedades que sean más diferentes entre ellos se irán igualando o diferenciando en función del porcentaje utilizado. Cuando se usa puro se denomina B100 y cuando participa en una mezcla, por ejemplo, 20/80 con gasoil se denomina B20. Pero esto no significa que no se pueda usar en otras proporciones. De hecho en Francia y otros países usan el B2, B5, etc.

2.6. USO DEL DIESEL Y BODIESEL

2.6.1. Problemas del biodiesel frente al diesel

a) Incompatibilidad a bajas temperaturas.

Uno de los mayores problemas que se encuentran a la hora de decidir el uso

de Biodiesel como combustible es el de las malas propiedades que posee a bajas temperaturas. Generalmente, como ya se ha indicado, tanto los Puntos de Congelación (PC), Puntos de Nube (PN), como el Punto de Obstrucción por Filtros Fríos (POFF) son desde ligeramente superiores a muy superiores dependiendo del origen del éster (aceite de maíz, oliva, etc...). Para un Biodiesel procedente de un aceite residual el POFF esta entre -7 y 0°C , lo cual es insuficiente para invierno. Utilizando un Biodiesel de origen animal el POFF es todavía superior.

b) Mayor Viscosidad.

Debido a que el biodiesel tiene una viscosidad mayor que el diesel pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros e inyectores. Si el spray es alterado por el flujo de combustible se puede generar una coquización del inyector o dilución del lubricante.

c) Coquización del inyector.

La coquización se incrementa con el aumento de:

- * la viscosidad.
- * del Peso Molecular.
- * de la Potencia Calorífica.

Disminuye con el aumento del grado de instauración.

d) Dilución del Lubricante.

Se debe desarrollar un lubricante específico para este combustible. Se necesita uno que tenga una capacidad dispersante superior a la utilizada con el diesel (TBN alto).

El perfil de la destilación del biodiesel difiere mucho del gasoil aunque los puntos de ebullición finales son bastante similares. Esto explica por qué el biodiesel tiende a disolverse más fácil en el lubricante que el diesel.

Existen estudios que indican que un aceite de motor se degrada mucho más rápido si el combustible utilizado es Biodiesel en vez de Diesel. La dilución que se produce por el Biodiesel en el aceite hace que la viscosidad disminuya en unas primeras etapas (dilución del combustible), mientras que se observa que

el TAN, TBN e insolubles están dentro de las especificaciones. En posteriores etapas aumenta con el tiempo (oxidación del lubricante) debido a la formación de depósitos y lacas, causadas por la tendencia del biodiesel a la oxidación y polimerización del lubricante, debido a la presencia de dobles enlaces en su estructura. Se han observado diluciones máximas en el cárter del orden del 15-20%. Cada motor tiene un orden de dilución diferente debido a sus holguras de fabricación, régimen de trabajo, etc.

La dilución afecta de la siguiente manera al motor:

- * Se observan depósitos de carbonilla blandos en la boquilla del inyector, corona del pistón y cabeza del cilindro.
- * Se generan menos depósitos de carbono en la válvula de admisión y similares en la de escape que respecto al diesel.
- * El biodiesel genera unos depósitos de carbón similares al diesel en los segmentos superiores, pero se obtienen mayores lacas en los segmentos internos.
- * Formación de lacas en los orificios del inyector.
- * Lodos en el sumidero, zonas de filtración de la bomba de aceite y otras partes del motor.
- * Desgastes en el cojinete de bancada (Sn/Pb).

La dilución por combustible es mayor con la carga aplicada que con la velocidad.

Respecto al lubricante:

- * Pérdida de dispersancia.
- * Separación de fases. Se forma una pequeña capa de fangos negros.
- * Aumento de la viscosidad.
- * Aumento de los insolubles en pentano.
- * Aumento de los niveles de metales de desgaste.
- * Aumento de la acidez del lubricante.

Por todo esto se recomiendan cambios en el aceite en periodos más cortos que para un diesel normal.

e) *Problemas de Corrosión.*

Pueden aparecer algunos problemas debido a corrosiones y partículas de desgaste en el aceite, que hay que tener en cuenta no solo en lo que afecta al motor, sino también respecto a la instalación (tanques de almacenamiento,...).

* Ataque a las juntas y pinturas.

- Las juntas de nitrilo en contacto con el Biodiesel se disuelven, por lo que se deben sustituir por las de Vitón que son más resistentes.
- También habría que tener en cuenta las que están en contacto con el aceite debido a los problemas encontrados de dilución con Biodiesel.
- Las pinturas del depósito de combustible y demás partes se deben sustituir por otras acrílicas.

* Ataque al Cu y Pb.

El Pb se desgasta muy rápido en presencia del Biodiesel. Las fuentes de plomo que existen en el motor son:

- Casquillo de Pie de Biela 10% (recubrimiento).
- Casquillos de la Bomba de aceite (recubrimiento).

El Cu también parece que es atacado por el Biodiesel. Partes que contienen cobre son:

- Enfriador del aceite 100%.
- Casquillo de Pie de Biela 75%
- Diferentes partes en menores porcentajes.

El cobre puede ser sustituido en la fabricación de las piezas:

- Enfriadores de acero inoxidable. Su desventaja es que disipan peor el calor, por lo que deben de ser más grandes y pesados.
- Sustitución de los casquillos de Pie de Biela otros que resistan ácidos y Cl.

* Agentes corrosivos presentes en el Biodiesel.

- El Cl es un agente muy corrosivo y por ello se debe limitar su presencia. Este puede proceder de diferentes fuentes:
 - i. La sal de las comidas,
 - ii. agua sin desalar en el proceso de fabricación del Biodiesel,

* Ácidos presentes en el Biodiesel. A medida que aumentan la cantidad de ácidos en el motor se van generando depósitos en los sistemas de

inyección con la consiguiente problemática en el bombeo del combustible. También atacan a las juntas y partes metálicas de los elementos del sistema de inyección.

- * Presencia de Medio Microbiano. La presencia de microbios provoca la corrosión del sistema y una colmatación de los filtros prematura. Podría usarse aditivos anti-microbianos. El contenido en agua acelera la presencia de microbios.

f) Otros contaminantes

- * La presencia de K y Na puede causar la precipitación de jabones obstruyendo los filtros. Estos se presentan en el Biodiesel debido a un defectuoso proceso de lavado en su producción.
- * Los Diglicéridos y Triglicéridos aumentan la corrosión al formar quelatos con los metales de las superficies metálicas. Existen en el mercado filtros bastante hidrófobos para resolver en gran medida este problema.
- * Glicerina Libre y Total. Hay que controlar muy bien los niveles de estos dos compuestos debido a que afecta de forma muy directa a la bomba de inyección.
 - Colmatan los filtros.
 - Por otro lado la generación de producto coquizados en los inyectores.
 - Aumentan la viscosidad y espesamiento.
 - Causan cristalizaciones a bajas temperaturas.

g) Colmatación de filtros.

- * Debido a que el biodiesel es un buen disolvente, disuelve toda la suciedad que haya en el circuito de combustible hasta dejarlo limpio. Por ello, al principio, puede que se colmaten los filtros muy rápidamente y haya que cambiarlos a las pocas horas de uso.
- * Si se ha usado anteriormente diesel, el biodiesel arrastrará toda la suciedad que se haya depositado en el sistema de combustible durante el uso del gasoil.
- * Los filtros se pueden colmatar con glicerina, con la consiguiente disminución de combustible bombeado (problemas de lubricidad). En la

trampa líquida puede quedarse parte de la glicerina que haya sido filtrada.

- * Los glicéridos causan cristalizaciones a bajas temperaturas. Los mono y diglicéricos afectan al punto de nube, pero no al de congelación. Se ha comprobado que los causantes de la colmatación de los filtros son los glicéridos saturados, por lo que los insaturados no contribuyen mucho al Punto de nube. Hay que controlar especialmente los filtros cuando se trabaja a temperaturas bajas. Se pueden poner calentadores.
- * Se pueden usar prefiltros de 5-10 μm para eliminar la mayor cantidad de suciedad inicial.

h) Problemas de Estabilidad.

- * Posee menor estabilidad a la oxidación que el diesel debido a que posee dobles enlaces y oxígeno en su molécula. Esto es importante a la hora de almacenar durante mucho tiempo el biodiesel.
 - El uso de recipientes acero o aluminio para almacenar el biodiesel no afecta negativamente a su estabilidad.
 - La utilización de recipientes que contengan cobre, cinc, plomo o alguna combinación de estos tres afecta de manera muy negativa a la estabilidad ya que forma gran cantidad de sedimentos.
- * Cuanto más contenido en C18:3 tenga va a ser menos estable.
 - Pueden favorecer la formación de depósitos en los inyectores.
 - Colmatación de los filtros.
- * Los productos que se generan en las prereacciones de combustión suelen ser más pesados formándose depósitos en el interior del motor y obstruyendo los inyectores.
- * A medida que se aumentan las instauraciones se ha observado que los depósitos penetran más en los segmentos del pistón. No se observan ni en el cilindro, pistón ni inyector.

Tabla 5. Resumen de los problemas en el equipo de inyección usando biodiesel

Característica Biodiesel	Efecto	Modo de Fallo
Ester metílico de ácido graso (FAME)	Provoca que las juntas de nitrilo se vuelvan más blandas, se hinchen, o se endurezcan y se rompan	Fugas de combustible
Metanol libre en el FAME	- Corroe Al y Zn -Disminuye el Punto de Inflamación	Corrosión del sistema de inyección (FIE)
Reactivos del proceso del FAME	K y Na forman compuestos sólidos	Bloqueo de las boquillas
Agua disuelta en el FAME	Reacción inversa de FAME a ácidos grasos	Colmatación de filtros
Agua libre en mezclas	- Corrosión - Presencia de bacterias - Aumento de la conductividad eléctrica del combustible	- Corrosión del FIE - Formación de fangos
Glicerina libre	- Corroe metales no férricos - Empapa los filtros de celulosa - Forma sedimentos en las partes móviles - Tiende a formar lacas.	- Obstruye los filtros - Coquizado del inyector
Mono y Di-glicéridos	Similar a la glicerina	
Ácidos Grasos libres	- Proporciona un electrolito y acelera la corrosión del Zn - Forma sales de ácidos orgánicos - Forma compuestos orgánicos	- Corrosión del FIE - Colmatación de filtros Sedimentos en partes
Aumentan los módulos de elasticidad	Aumenta la presión de la inyección	Reducción de la vida en servicio
Alta viscosidad a baja temperatura	- Genera un excesivo calor local en las bombas de distribución rotatorias - Aumento del estrés de los componentes	- Ataque a la bomba - Fallos prematuros - Pobre atomización del spray en la boquilla
Impurezas sólidas	Problemas potenciales de lubricidad	Vida de servicio reducida
Productos de Envejecimiento		
Ácidos corrosivos (fórmico y acético)	Corroen todas las partes metálicas	Corrosión del FIE
Ácidos orgánicos de peso molecular mayor	Similar a los ácidos grasos	
Productos de polimerización	Depósitos, especialmente en <u>mezclas de combustibles</u>	- Colmatación de filtros - Formación de lacas en zonas calientes

2.6.2. Ventajas del biodiesel frente al diesel

a) Lubricidad.

El biodiesel posee unas características de lubricidad superiores a las del diesel.

- * Se obtienen unos resultados marcadamente mejores en los ensayos de lubricidad realizados.
- * Se producen menos partículas de desgaste (Fe, ...) que con el diesel.

b) Número de Cetano.

Por lo general los ésteres derivados de ácidos grasos tienen un NC mayores que el Diesel.

Durante el proceso de precombustión de los ésteres en el motor se forman diferentes compuestos: alcanos, alquenos, ésteres, bencenos sustituidos y furanos entre otros.

Se ha comprobado que los compuestos aromáticos poseen un número de cetano menor (por eso el diesel tiene un NC inferior al biodiesel que no posee apenas aromáticos). Los ésteres que más cantidad de compuestos aromáticos poseen son los insaturados.

- * Esta es una posible explicación de por qué estos poseen números de cetano inferiores a los de los ésteres saturados.
- * La posición del doble enlace también va a influir en la formación de especies de precombustión (los cis generan menos aromáticos que los trans).
- * Otro factor que influye en el NC es la estructura (ramificación, presencia y número de dobles enlaces en la molécula,...). Cuanto mayor sea la longitud de la cadena (número de CH₂) mayor será también el NC, así como la ausencia de dobles enlaces.
- * Por último, decir que cuanto mayor sea la parte alcohólica del éster tanto menor será el NC.
- * Existe una relación entre el punto de ebullición del éster con el NC.

Viendo esto, se puede comprender por qué dependen tanto las características de un biodiesel según su origen.

c) *Emisiones Contaminantes*. Producen combustiones más eficaces debido a la presencia del oxígeno de las moléculas del éster en el núcleo del spray:

- * Afecta a una mejora en el rendimiento de la combustión.
- * Una importante disminución en la cantidad de partículas emitidas (menor opacidad en los humos). Esto se ve influenciado por el mayor NC.
- * Una menor emisión de CO y HC sin quemar.
- * El biodiesel está compuesto por cadenas largas de carbono similares a las parafinas del diesel. De esta manera se diluye el contenido en aromáticos reduciendo las partículas.
- * Balance en emisiones de CO₂ nulo debido a que se origen es biológico.