

Potencial para el uso directo de los aceites vegetales en los motores de combustión

Hipólito Ortiz Laurel^{1§}, Dietmar Rössel Kipping² y Ulrike Schümann³

¹Campus Córdoba. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera Federal Córdoba-Veracruz, km 348. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94946. Tel. 2717166000. ²Campus San Luis Potosí. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Iturbide Núm. 73. Salinas de Hidalgo, S. L. P. México. C. P. 78600. Tel: 4969630448. edietmar@colpos.mx. ³Faculty for Mechanical Engineering and Marine Techniques. University of Rostock. Albert Einstein Str. 2. 18059. Rostock. Germany. ulrike.schuemann@fvtgmbh.de. [§]Autor para correspondencia: hlaurel@colpos.mx.

Resumen

Los combustibles fósiles son aquellos que provienen de restos orgánicos vegetales y animales y se extraen de la naturaleza. Estos combustibles son contaminantes del medio ambiente a través de los gases que salen de los motores de combustión. El biodiesel es un combustible de origen vegetal obtenido a partir de los aceites vegetales de semillas, plantas y algas oleaginosas. El biodiesel es menos contaminante que los combustibles fósiles. Este trabajo presenta una revisión de las propiedades entre del biodiesel y del aceite vegetal con el propósito de determinar la posibilidad de usar directamente el aceite vegetal en lugar de procesarlo y transformarlo en biodiesel. Aunque algunas son muy parecidas, otras difieren bastante y son éstas últimas las causantes de los mayores problemas de su uso en los motores de combustión. Los aceites vegetales crudos se pueden utilizar en automotores diesel, aunque debe prestarse especial atención, sobretodo, a la cristalización de sus ceras a bajas temperaturas y a su contenido de agua, cosa que llevaría problemas en los filtros de combustible y en el sistema de inyección respectivamente. Por el contrario, para que un automóvil cualquiera de serie pueda utilizar un tipo de biodiesel determinado sin problemas, éste último debe cumplir unos requisitos mínimos, principalmente por el hecho de que se deben realizar procesos diferentes a los aceites en función de su procedencia. Una operación confiable y de bajo impacto ambiental del uso de los motores de combustión interna solamente será posible si, las propiedades relevantes de estos combustibles están definidas y con valores dentro de los límites especificados.

Palabras clave: aceite vegetal, bioenergético, biodiesel, combustible, propiedades.

Introducción

A lo largo de la historia la humanidad ha sido exitosa en la producción de alimentos para su sustento: como ejemplo, en el siglo pasado el estimado de la demanda de alimentos se duplicó. Sin embargo, este logro se alcanzó utilizando una mayor cantidad de energía para producirlos que la energía obtenible a partir de éstos. Bajo esta premisa y con el propósito de estar en condiciones de equilibrar este consumo energético excesivo, conviene recordar el concepto de la producción orgánica que por definición utiliza mucho menos energía, lo cual no solo es favorable para la salud humana, pero también para el balance energético, lo que da como resultado de que se requiera 20% menos de alimentos, con lo que se utiliza 50% menos de energía técnica. De ahí que surge el cuestionamiento, acerca del uso que se da a la producción de la energía biológica, que en el caso de los cultivos bioenergéticos: por ejemplo, debiera ser en la obtención de biomateriales o bioenergía, en cumplimiento de la definición de la energía técnica (Meier *et al.*, 2007).

Los aceites vegetales obtenidos a partir de cultivos como la colza, palma, soya, girasol y olivo, son ya utilizados como combustibles alternativos en los motores diesel desde hace

ya casi nueve décadas y es este uso potencial el que ha atraído recientemente la atención de los investigadores (Altin *et al.*, 2000; Jones y Peterson, 2002; Blauensteiner y Gruber, 2009).

En promedio para la producción agrícola se requiere alrededor de 12% de energía para la obtención del fruto del cultivo, mientras que para su almacenamiento, transporte y la transformación se requiere una cantidad muy superior a esa. En el caso de utilizar el aceite vegetal en la elaboración de biodiesel se necesita 27% de energía adicional. Estos últimos datos son contradictorios, cuando por un lado, se le otorga mayor atención a la selección de la especie vegetal, a los agroquímicos empleados, al clima, al almacenamiento técnico, a la preparación del material orgánico, la extracción del aceite y procesos pos-limpieza y en segundo término al almacenamiento y al transporte del aceite que se requiere para suprocesamiento (Stumborg *et al.*, 1999; Schwab *et al.*, 2003).

Esta fase también influye en las características finales del aceite vegetal, las cuales pueden ser diferentes, debido a; la calidad de la semilla, al procesamiento, su almacenamiento y transporte y en el que se pueden presentar las siguientes particularidades sujetas a una irregular variabilidad, como son; una impureza total, su contenido de ácidos, la estabilidad de la oxidación, el contenido de azufre, de calcio y de magnesio, el contenido de ceniza y el contenido de humedad (Pryde, 1982; Blauensteiner y Gruber, 2009).

Básicamente el aceite vegetal es un combustible muy confiable (Peterson *et al.*, 1983). Se caracteriza por tener una mayor viscosidad así como un mayor punto de combustión (Hewett, 2007). Estas propiedades le confieren la muy conocida capacidad para cocinar, aunque se tienen dificultades para lograr una combustión óptima, debido principalmente a no disponer de un producto libre de residuos. Siendo un producto de la naturaleza, es normal que el aceite vegetal puro se encuentre aún con materiales en suspensión y con diversos grados de suciedad (Peterson, 1986).

A simple vista, las ventajas que se le conceden al aceite vegetal natural son: alto potencial calorífico (gran densidad energética); forma líquida, y por ello, fácil de usar; cuando se quema emite menos hollín; tiene una alta eficiencia energética; no es tóxico ni dañino para los humanos, animales o agua; no es inflamable ni explosivo y no emite gases tóxicos; es fácil de almacenar, transportar y utilizar; no causa daños si se vierte accidentalmente; en su manejo no se requiere tomar precauciones especiales; es producido de forma directa por la naturaleza (no ha de ser transformado); es

una forma recicitable de energía; no tiene efectos ecológicos adversos cuando es utilizado; no contiene sulfuro (no genera lluvia acida cuando es usado); cuando se quema es neutral en CO₂ (no contribuye al efecto invernadero).

De lo anterior, es conveniente señalar que el valor potencial del producto, es lo que le interesa al usuario final está sujeto a la duración y calidad de su almacenamiento, así como su permanencia en el tanque de combustible del vehículo, que sin lugar a dudas se reduce aún más por la acción del oxígeno, del hidrógeno, de las altas temperaturas y del tipo de material de que está construido ese contenedor (Pryde, 1982; Tickell, 2003).

Ante esta serie de vicisitudes, surge el cuestionamiento de si resulta favorable elaborar biodiesel (Griffin Shay, 2003) a partir del aceite vegetal ó es más eficiente la obtención de la energía técnica, para alcanzar un equilibrio para el medio ambiente y la economía al utilizar el aceite directamente en el motor (Lawson, 2006; Hewett, 2007; Blauensteiner y Gruber, 2009). Para dar una primera respuesta a esta pregunta, es conveniente revisar qué problemas plantea el uso del aceite directamente en el motor de combustión interna.

Antecedentes

El uso de los aceites vegetales para el funcionamiento de los motores de combustión interna presentan exigencias especiales, por lo que, el proceso de evaluación de la calidad del funcionamiento y la detección de los parámetros que intervienen para asegurar una calidad satisfactoria son de vital importancia (Blauensteiner y Gruber, 2009). Por un lado, el conocimiento de las propiedades de los materiales de las piezas y su exposición al contacto con este producto y de su comportamiento cuando se exponen a las probables variaciones en sus especificaciones (aceite vegetal de varias fuentes). Los probables resultados de esta constante interacción, dirigida a lograr un producto de calidad para conseguir un correcto funcionamiento de los motores de combustión interna es un área en la que la investigación es aún incipiente.

El aceite vegetal como producto natural, nunca está completamente limpio, por ello es transportado bajo condiciones controladas, con un sistema de filtrado (generalmente utilizando dos filtros) así como calentado

en un intercambiador de calor (Jones y Peterson, 2002). Para poder usar el aceite vegetal como combustible, es recomendable realizar una serie de modificaciones técnicas en el motor. Por ejemplo, se deben colocar filtros fabricados específicamente para manejar este producto, se debe modificar el sistema de inyección, en las bujías y en la mecánica de control así como en la electrónica de control. Es necesario hacer notar que sin estas modificaciones tecnológicas la mezcla de aceite vegetal ocasionaría graves daños inevitables en el motor diesel (Nwafor *et al.*, 2000; Nwafor, 2004).

¿Cuáles son las exigencias respecto al funcionamiento del motor frente al aceite vegetal? Entre las más importantes se encuentran; el sostenimiento de la misma calidad para su funcionamiento independientemente del tiempo en el que va ser utilizado, la variación de las características solo en el rango definido y una reserva de la calidad para el tiempo de almacenamiento y el transporte (Ryan III *et al.*, 1984; Remmele y Thuneke, 2007; Blauensteiner y Gruber, 2009). Los Cuadros 1, 2 y 3 muestran una comparación de parámetros que orientan sobre las múltiples ventajas de utilizar el aceite vegetal en un motor de combustión interna.

Cuadro 1. Empleo de mano de obra y energía necesaria para la obtención de aceite y biodiesel.

	Aceite vegetal	Biodiesel
Mano de obra		
a) Limpieza de la semilla		a) Limpieza de la semilla
b) Extracción de aceite en frío		b) Tratamiento con vapor
c) Filtración de aceite		c) Extracción en caliente
		d) Extracción de hexano
		e) Destilación de hexano
		f) Limpieza de la goma seleccionada del aceite
		g) Refinación del aceite
		h) Esterificación del aceite
Energía necesaria		
Producción de aceite vegetal	12%	12%
Preparación del aceite	3%	7%
Esterificación	-	17%
Ganancia por la glicerina	-	4% (positivo)
Total	15%	32%

Cuadro 2. Almacenamiento, transporte, medio ambiente y aspectos sociales.

	Aceite vegetal	Biodiesel
Almacenamiento y transporte	Totalmente sin problemas	Mayor riesgo Más inflamable Daña más al ambiente
Medio ambiente		
Degrado por microorganismos	Muy rápido	Lento
Contaminación de agua	Ninguno	Leve
Toxicidad hacia los humanos	Ninguno (aceite comestible)	Venenoso
Ciclo de la materia	Sencillo de cerrar el ciclo	Reciclaje costoso
Aspectos sociales		
Estrategia	Descentralizado de tamaño pequeño	Centralizado, instalación grande
Logística o transporte	Sencillo	Más complejo
Distancias de transporte	Pequeño	Largas
Funcionalidad	Grande	Reducido
Ganancia regional	Alto	Pequeño

Cuadro 3. Costos para la técnica de elaboración de biodiesel y de obtención de aceite vegetal.

	Aceite	Biodiesel	Valor (\$)
Técnica			
Aplicación del motor al combustible	20 mil a 60 mil	3 mil a 4 mil	Pesos/cada motor
Para producción en el taller (a gran escala)	Menos de 3 mil	Menos de 3 mil	Pesos/cada motor
Combustibles			
Gastos de producción	3.75 hasta 6	6.65 hasta 9	Pesos/litro
Precios de mercado	7.5 hasta 9	9.75 hasta 12	Pesos/litro

Del análisis de los cuadros anteriores, es conveniente cuestionarse nuevamente si existen mejores usos para estos productos sin que se impacte negativamente al medio ambiente, a la energía y a la economía. El principal elemento de los aceites vegetales que afectan su uso directo en los motores son los triglicéridos, cuya cantidad puede variar desde 94.4 hasta 99.1% ($m\ m^{-1}$). En segundo término, se encuentran: los lípidos de fósforo, los ácidos grasos libres, los alcoholes grasos, las parafinas, las ceras, los tocoferoles, la clorofila y los enlaces con azufre (Graboski y McComirck, 1998).

Un grupo final que requiere de atención es la influencia de la estructura química del progenitor; es decir, las especies vegetales que dieron origen al aceite y los aditivos agregados en su procesamiento (Hewett, 2007). Por esto último, antes de planificar un desarrollo tecnológico y genético se debe investigar el comportamiento de las características y su posible impacto en su potencial aplicación.

Se distinguen tres grupos de características que influyen en los atributos del producto final. El primero se refiere a esas características que ya están definidas por la estructura química y que no pueden ser cambiadas con facilidad (Deutsches Institut für Normung e.V., 2006). Por ejemplo,

su conductividad térmica, su capacidad para expulsar el aire, su capacidad para cambio de estado a gas, la capacidad del gas de desprender olor, su estabilidad térmica, su capacidad térmica, su densidad, su capacidad de expulsión del material con alto punto de la temperatura de ser líquido (triglicéridos saturados de cadenas largas) y su compresibilidad.

El segundo grupo lo componen las características particulares de las especies vegetales, por lo que a través de la selección de las especies es posible determinar, por ejemplo, el contenido de yodo, la estabilidad de la oxidación, el contenido de azufre, la viscosidad y su capacidad para transformarse en carbón. Como tercer grupo se tienen las características que pueden modificarse con la adición de aditivos; por ejemplo, esas que influyen en el punto de inflamación, la viscosidad (parcial), la estabilidad de la oxidación, el punto de solidificación y su capacidad para facilitar el arranque del motor en frío.

A manera de ejemplo, puede mencionarse que para el uso del aceite de colza se han elaborado ciertas normas, como la ISO 3170, DIN 51750 parte 1 y 2 y el Cuadro 4 presenta la lista de parámetros que deben ser sujetos de control, de conformidad con la norma DIN 51605:2010-09 (Deutsches Institut für Normung e.V., 2006; Remmele y Thuneke, 2007).

Cuadro 4. Parámetros establecidos por la norma DIN 51605:2010-09 que requieren control.

Parámetro	Protocolo de la prueba	Unidad	Valor límite por DIN 51605:2010-09
Dictamen visual			Libre de impurezas visuales
Cantidad de ácidos	DIN EN 12662	$mg\ kg^{-1}$	24 max
Estabilidad de oxidación 110 °C	DIN EN 14104	$mg\ KOH\ g^{-1}$	2.0 max
Contenido de P	DIN EN 14107	$mg\ kg^{-1}$	12 max (2012 31 max)
Contenido de agua	DIN EN ISO 12937	(%) de la masa	0.075 max
Contenido de ceniza	DIN EN ISO 6245	(%) de la masa	0.01 max
Densidad con 15 °C	DIN EM ISO 12185, DIN EN ISO 3675	$kg\ m^{-3}$	900-925

Cuadro 4. Parámetros establecidos por la norma DIN 51605:2010-09 que requieren control (Continuación).

Parámetro	Protocolo de la prueba	Unidad	Valor límite por DIN 51605:2010-09
Contenido total de Ca y Mg	DIN EN 14538	mg kg ⁻¹	20 max
Punto de inflamación por P·Mg ⁻¹	DIN EN 22719	°C	101 min
Poder calorífico	DIN 51900-1-2-3	MJ kg ⁻¹	36.0 min
Viscosidad cinética a 40 °C	DIN EN ISO 3140	mm ² s ⁻¹	38 max
Residuos de carbón	DIN EN ISO 10370	(%) de la masa	0.40 max
Cantidad de yodo	DIN EN 14111	G 100 g ⁻¹	125 max
Contenido de azufre	DIN EN ISO 20884 y DIN EN ISO 20846	mg kg ⁻¹	10 max

Análisis de la información

Producto de la revisión de las diferentes características, se pueden establecer los indicadores de las variaciones que pudieran diferir del estándar de la calidad, cuando el producto está destinado a utilizarse en el motor (Deutsches Institut für Normung e. V., 2006; Remmeli y Thuneke, 2007; Blauensteiner y Gruber, 2009).

Evaluación visual por medio de la norma DIN 51605:2010. El protocolo de este estándar establece el procedimiento de la percepción visual, en el que bajo esta revisión se detecte los sólidos de las impurezas y del agua libre.

La presencia de esos parámetros es indicativa de un probable incremento de las cantidades límites permisibles de la impureza total, de la cantidad de P⁻, Ca⁺ y Mg²⁺ o del contenido de agua.

Olor. El olor percibido tiene que ser típico, no rancio o picante.

Un olor atípico es una señal inequívoca de la probabilidad de que exista un valor superior al del límite para la estabilidad de la oxidación y de elementos extraños no deseados.

Densidad a 15 °C. Determinada mediante el protocolo de la norma DIN ENISO 3 675, el cual permite un valor límite mínimo de 900 kg m⁻³ y de 925.0 kg m⁻³ propuesto por la norma DIN 51605:2020-09. Éste valor es importante para planear la logística y el mercadeo, además de que influye en el cálculo del volumen de la masa.

Una densidad fuera de esos límites es una señal inequívoca de que se tienen materiales extraños en la mezcla, que pueden ser otras grasas o aceites.

Punto de explosión. Éste valor se mide por medio de la norma DIN EN 2719 siguiendo el método de Pensky-Martens, empleando un recipiente de fundición cerrado a presión y debe tener un valor límite de temperatura de 101 °C establecido por la norma DIN 51606:201009.

Este valor es importante para la seguridad de los usuarios durante el transporte del producto y durante su almacenamiento. En el caso de la existencia de un punto de explosión ≤ 100 °C, se le considera como material peligroso ($\geq 20\% (m\ m^{-1})$ para diesel) y si éste punto se presenta a ≤ 55 °C es un sustrato peligroso ($\geq 5\%$ en el caso de la gasolina).

Viscosidad cinética. Éste valor se mide a 40 °C mediante la norma DIN EN ISO 3104 y es importante para facilitar el bombeo del material y para la eficiencia de la función de los inyectores. El valor límite es 36.9 mm² s⁻¹, definido por la norma DIN 51605: 2010-09. Los resultados están directamente relacionados a la composición de los ácidos grasos y a la temperatura del material.

Cantidades mayores a ese límite provocan problemas del flujo del material (arranque del motor en frío), sobrecarga de las bombas de transporte del material y las bombas de inyección e inducen una preparación deficiente de la mezcla en el motor. Las causas probables se deben a procesos incompletos de maduración y a la presencia de aceites grasos con cadenas largas.

Poder calorífico. Ésta característica como valor bajo de calor presenta la energía de calor cual se libera en el caso de quemar y reducido por la energía para la condensación del vapor que se genera medido bajo de DIN 51999-1 y -3. Este valor tiene el límite de $36\,000 \text{ kJ kg}^{-1}$ definido por la norma DIN 51605: 2010-09 y el valor promedio está fijado en $37\,500 \text{ kJ kg}^{-1}$. Estos valores son importantes para el contenido de energía y la cantidad del consumo por el motor. Valores fuera de los límites catalogados por la norma DIN son causa para un consumo extendido en el motor.

Explosividad. La explosividad está caracterizada por el valor cetano, que es definido por la norma DIN EN ISO 15195 y está caracterizada por la capacidad de auto-explosión del material. El valor límite es 40 como mínimo establecido por la norma DIN 51605: 2010-09 y el valor promedio es 44.5.

Si hay un retraso largo de la explosión en el motor se suceden altas cargas de los elementos de la construcción y un deficiente encendido del motor con bajas temperaturas del ambiente. La determinación del valor cetano en un motor de pruebas con el uso de aceites vegetales es muy complicada y como de momento no se dispone de este motor, este valor aún no está determinado con precisión.

Residuos de carbón en el motor. Estos residuos son restos de carbón y de ceniza definidos por la norma DIN EN ISO 10370 y el valor límite es 0.40% (m m^{-1}) mediante la norma DIN V 51605: 2006-03. Esta particularidad se distingue por la capacidad de generar carbón, lo que conduce a que estos residuos de material se adhieran (incrustaciones) sobre los elementos de construcción calientes y en particular ante la ausencia de aire.

La presencia de esta característica genera incrustaciones de carbón en el área de la bomba de inyección, los inyectores, en los anillos de los pistones, las válvulas y otras partes que intervienen en el proceso del encendido. La causa se debe a impurezas en los aceites que contienen una gran cantidad de ácidos grasos no saturados, por ejemplo, el aceite de linaza. Los cuales, sin embargo, pueden aprovecharse para mejorar el valor cetano.

Cantidad de yodo. Esta característica se distingue porque en promedio se exhibe un enlace doble en la molécula. Este enlace y la cantidad de yodo se pueden determinar con nitratación con la preparación de una solución Wijs, como está establecido por la norma DIN EN ISO 14111 y que

debe tener un valor límite de 125 g yodo 10 g determinado por la norma DIN 51605:2010-09. Lo fundamental de esta característica es que influye en la cantidad de halógenos expresados en unidades de yodo.

Los problemas que exhibe esta característica se detectan como sedimentaciones en el área de la bomba de inyección y los inyectores, así como en los anillos de los pistones, la polimerización de los aceites usados para la lubricación, ocasiona pérdidas por una lubricación deficiente y la presencia de gomas en el tanque del diesel. Las causas a las que se les atribuye estas consecuencias son; impurezas en los aceites con una alta cantidad de enlaces múltiples, como el aceite de girasol o de linaza.

Contenido de azufre. El contenido de azufre se determina por el análisis de roentgen haciendo uso de la norma DIN EN ISO 20884 y tiene el valor límite máximo de 10 mg kg^{-1} establecido por la norma DIN 51605: 2010-09. Cuando el valor de ésta característica supera el límite previsible, se incrementa la emisión de gases de escape, la corrosión y muy probablemente una acción de ácidos. De lo anterior, es importante entender que, el contenido de azufre es perjudicial para los catalizadores, ya que promueve la corrosión y propicia la acidez del aceite del motor.

Impurezas totales. Las impurezas totales se miden con el método de filtración para un diámetro de los poros de $0.8 \mu\text{m}$, haciendo uso de la norma DIN EN ISO 12662 y se puede permitir un valor límite máximo de 24 mg kg^{-1} determinado por la norma DIN 51605: 2010-09. Las impurezas tienen su origen en el polvo, en las partes de las plantas, residuos en los medios de filtración y oligómeros de los ácidos grasos.

Cantidades mayores a los límites establecidos provocan el tapado de los filtros, una deficiente lubricación y acelerado desgaste de las bombas de inyección. Estos perjuicios se deben a una defectuosa técnica de filtración, filtros de seguridad incorrectos, recipientes de almacenamiento con impurezas y un incompleto vaciado del aceite de los recipientes.

Cantidad de ácidos. La cantidad de ácidos se mide por titración, donde se incluye también la determinación de KOH por la norma DIN EN ISO 14104, mientras que la norma DIN 51605: 2010-09 establece un valor límite de 2 mg KOH g^{-1} . Esta característica influye en el contenido de ácidos grasos libres y puede provocar una aceleración en la madurez del aceite por la división molecular de los iones de hidrógeno.

Cantidades en exceso de esta característica provocan corrosión de las bombas de inyección y causa la congelación del aceite lubricante. El origen de que se genere esta situación se debe a la presencia de semillas sin madurar, un gran porcentaje de granos rotos, semillas en proceso de germinación y a un deficiente almacenamiento de la semilla y del aceite.

Estabilidad de la oxidación. Ésta característica a una temperatura de 110 °C acelera el proceso de madurez y ésta se mide mediante la norma DIN EN ISO 4112. El valor límite mínimo está definido en 6 h por la norma DIN 51605-09. Éste valor es importante para determinar su capacidad de almacenamiento, la pre-madurez debido al oxígeno y la reacción con el aceite del motor.

Un exceso de esta característica promueve el desarrollo de polímeros no solubles con el aceite, de resinas adheridas a los elementos de las bombas de inyección, de las agujas de los inyectores, a los anillos de los pistones, a los tanques y a la polimerización del aceite de lubricación. Los agentes causantes son el jugo de los ácidos grasos, la calidad del almacenamiento a que son sometidas las semillas, el almacenamiento del aceite y al uso de aditivos como antioxidantes. De ahí que se tenga un aceite muy espeso, se realice la polimerización de aceite lubricante, el desgaste de los cilindros, entre otras secuelas.

Contenido de fósforo. Los elementos de fósforo se miden con ICP/OES por la norma DIN EN ISO 14107 y el valor límite es 12 mg kg⁻¹ como máximo (a partir del año 2012, éste será 3 mg kg⁻¹ como máximo) por la norma DIN 51605:2010-09. Este es importante debido al incremento en la cantidad de ceniza y por el daño que ocasiona al catalizador.

Por lo anterior, los problemas más inmediatos se reflejan en la posibilidad de saturar el filtro por el incremento de los lípidos de fósforo, de las sedimentaciones tanto en el cilindro, de esas en la parte superior de las válvulas, como en los catalizadores, etc., y las causas se deben principalmente a la presencia de una gran cantidad de semillas rotas, así como el empleo de elevadas temperaturas durante la extracción del aceite.

Contenido de calcio y magnesio. La suma de las cantidades de calcio y magnesio se mide con la determinación de elementos, mediante el protocolo ICP/OES de la norma DIN EN ISO 14538 y el valor límite máximo es 20 mg kg⁻¹ (a partir de 2012; en Ca el máximo será de 1 mg kg⁻¹ y en Mg el máximo será de 1 mg kg⁻¹) establecido por la norma DIN 51605: 2010-09. El contenido de estos elementos es muy importante, ya

que influyen en la cantidad de ceniza producida, además de que ésta es perjudicial para el catalizador. Por lo anterior, una cantidad superior al límite es la responsable de las incrustaciones en el cilindro y encima de las válvulas además de que provoca la desactivación de los catalizadores.

Las causas se deben a la presencia de una gran cantidad de granos rotos y a que la extracción del aceite se realiza con calor excesivo. Las consecuencias del uso de éste producto es el desgaste de las superficies exteriores de los pistones, de los anillos con capas de minerales, entre otros.

Contenido de ceniza. La ceniza de óxido está definida por la norma DIN EN ISO 6245 y el valor límite máximo es 0.01% (m m⁻¹), introducido por la norma DIN V51605: 2006-03. Ésta característica es responsable de la presencia de residuos en el motor y en otras partes. Las sedimentaciones y desgaste en el cilindro (superficie del cilindro y anillo del pistón, asientos de las válvulas, etc.) son producto de la excesiva cantidad de este compuesto. Las principales causas que conducen a ésta cualidad son la gran cantidad de granos rotos, la extracción del aceite con temperaturas elevadas y la contaminación con polvo durante el almacenamiento.

Contenido de humedad. El contenido de humedad a partir del proceso Karl Fischer- la titración está definido por la norma DIN EN ISO 12937 y el valor límite máximo establecido por la norma DIN 51605: 2010-09 es de 750 mg kg⁻¹. Este valor tiene importancia para el proceso de maduración del aceite y su efecto en la aceleración de la corrosión.

Esta particularidad provoca en su acción la expulsión del agua libre, el proceso de emulsión, la cristalización del hielo, el crecimiento de bacterias, la capacidad de inflamación de los lípidos de fósforo y la hidrólisis de los triglicéridos. El origen de estas causas es un secado incompleto de las semillas y a un deficiente almacenamiento de las semillas y del mismo aceite vegetal.

Conclusiones

Las características del producto como combustible están directamente vinculadas con la estructura molecular que ostenta, debido en parte a las especies vegetales de los que proceden, a los aditivos agregados, al procesamiento, a su almacenamiento y a su porte, que lo orilla a modificarse tanto positiva como negativamente.

Para garantizar el uso de este producto en los motores de combustión interna es conveniente que el combustible cumpla con los lineamientos de las normas. Por lo anterior, el aceite vegetal necesita exhibir y mantener una reserva de la calidad como combustible para el transporte y el almacenamiento. El cumplimiento de los valores límites establecidos por las normas es fundamental para garantizar la seguridad del funcionamiento de los motores, por lo que es importante poner especial atención a ese aspecto mediante un desarrollo programado con pruebas de validación, para cumplir fielmente con el procedimiento del uso de los aceites vegetales en los motores.

Los riesgos más comunes que pueden manifestar los motores de hoy en día, al no cumplir con los límites establecidos por las normas que han sido desarrolladas para este propósito son; presencia de carbón, impurezas totales, contenido de P, Ca y Mg, mayor cantidad de ácidos y estabilidad de oxidación. Por lo anterior es conveniente instalar un sistema de control que asegure una calidad uniforme del aceite vegetal.

Los procesos requeridos en la producción del biodiesel comparados al material de salida del aceite vegetal resultan más caros en la fabricación y por lo tanto de su venta en el mercado. Asimismo, en comparación con el aceite vegetal y con el combustible diesel, el biodiesel proporciona un valor energético un poco menor, lo que se traduce en un aumento del consumo que puede oscilar entre 5 y 8%.

Las características típicas de los aceites vegetales que influyen en su comportamiento como combustible en los motores de combustión interna son: a) excelente comportamiento: viscosidad- temperatura (mayor de 200); b) mayores cantidades de ácidos no saturados en la molécula que ayudan a mejorar el comportamiento en el rango frío; c) considerables cantidades de yodo, que causan una menor estabilidad contra la madurez; y d) grandes valores para elaborar jabón, debido a que existe una gran cantidad de grupos de esteres en el molécula.

Literatura citada

Altin, R.; Cetinkayab, S. and Serdar, Y. H. 2000. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. Energy Conv. Manag. 42(5):528-538.

- Blauensteiner, H. and Gruber, G. 2009. Demonstration of 2nd generation vegetable oil fuels in advance engines. Work package 3: fuel development. Waldland Vermarktungs GmbH, Austria. 33 p. <http://www.2ndvegoil.eu/global/download/%7BADZGVASPK-29201111588-TZAPZCPLAI%7D.pdf>. (consulta julio, 2012).
- Deutsches Institut für Normung e.V. 2006. DIN V 51605, Kraftstoffe für pflanzenöltaugliche Motoren-Rapsölkraftstoff-Anfordnerungen, Berlin, Beuth-Verlag GmbH. 30 p.
- Graboski, M. S. and McComick, R. L. 1998. Combustion of fat and vegetable derived fuels in diesel engines. Progress Energy Combustion Sci. 24(2):125-164.
- Griffin, S. E. 2003. Diesel fuel from vegetable oils; status and opportunities. Biom. Bio. 4(4):227-242.
- Hewett, J. 2007. Biodiesel: reducing fossil fuel use-revatalising agriculture. Landwards. 62(1):11-12.
- Jones, S. and Peterson, C. L. 2002. Using unmodified vegetable oils as a diesel fuel extender- a literature review. In: Memorias de la Conference Bioenergy. Idaho, USA. 9 p.
- Lawson, J. 2006. Alternate reality: what are we going to do once the oil reserves run out? What are the myths about alternative fuels? Industrial Vehicle Technology. October- November. 36- 42 pp.
- Meier, M. A. R.; Metzger, O. and Schubert, U. S. 2007. Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science. Chem. Soc. Rev. 36(11):1788-1802.
- Nwafor, O. M. I.; Rice, G. and Ogbonna, A. I. 2000. Effect of advanced injection timing on the performance of rapeseed oil in diesels engines. Renewable Energy. 21(3-4):433-444.
- Nwafor, O. M. I. 2004. Emission characteristics of diesel engine running on vegetable oil with elevated fuel inlet temperature. Biom. Bio. 27(5):507-511.
- Peterson, C. L.; Auld, D. L. and Thompson, J. C. 1983. Experiments with vegetable oil expression. Transactions of the ASAE. 26(5):1298-1302.
- Peterson, C. L. 1986. Vegetable oil as a diesel fuel: status and research priorities. Transactions of ASAE. Am. Soc. Agric. Eng. 29(5):1413-1422.
- Pryde, E. H. 1982. Vegetable oil fuel standards. In: Memorias de la International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels. Am. Soc. Agric. Eng. Michigan II. USA. 101-105 pp.
- Remmele, E. and Thuneke, K. 2007. Pre-standard DIN V 51605 for rapeseed oil fuel. In: Memorias de la 15th European Biomass Conference and Exhibition. Mayo, 2007 Berlín, Alemania. 2612-2613 pp.

- Ryan III, T. W.; Dodge, L. G. and Callahan, T. J. 1984. The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61(10):1610-1619.
- Schwab, A. W.; Bagby, M. O. and Freedman, B. 2003. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. *Fuel*. 66(10):1372-1378.
- Stumborg, M.; Wong, A. and Hogar, E. 1999. Hydroprocessed vegetable oils for diesel fuel improvement. *Biores. Technol.* 56(1):13-18.
- Tickell, J. 2003. From the fryer to the fuel tank: the complete guide for using vegetable oil as an alternative fuel. Tickell Energy. CA. USA. 165 pp.