



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Planta de biodiesel de Elda (Alicante). Producción a partir de aceites vegetales

Autor: Elena García Ongallo

Institución: Universidad de Oviedo. Departamento de Energía.

E-mail: pcen5@etsimo.uniovi.es

Otros autores: M^a Jesús Blanco Acebal (Universidad de Oviedo. Departamento de Energía); Jorge Xiberta Bernat (Universidad de Oviedo. Departamento de Energía);



RESUMEN:

La sociedad actual es una gran consumidora de energía y el combustible industrial principal es el petróleo. La crisis energética de 1973 provocó una estabilización, e incluso una ligera disminución de la demanda ante los constantes aumentos del precio del crudo. El encarecimiento de la energía, la dependencia energética de muchos de los países económicamente desarrollados, así como los graves problemas medioambientales asociados, han obligado a un replanteamiento de los distintos países sobre la estrategia energética global, que se basa actualmente en el fomento de la eficiencia y el ahorro energético así como la búsqueda de nuevas fuentes de energía que nos permitan disminuir la actual dependencia de las fuentes de origen fósil y nuclear. Los biocombustibles son una alternativa frente al petróleo. La Unión Europea y el Gobierno de España se han fijado el objetivo de que, en el año 2010, los biocombustibles contribuyan en un 5,75% en los carburantes del transporte. Uno de los principales biocombustibles es el biodiésel. SE obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación. El biodiésel puede mezclarse con gasóleo en diferentes cantidades. Con la construcción de nuevas plantas de producción de biodiésel. Se obtienen beneficios tanto económicos como medioambientales. Un claro ejemplo es la Planta de Biodiésel de Elda, con capacidad para producir 20.000 toneladas de biodiésel al año. Su estudio económico demuestra su gran rentabilidad, consiguiendo una tasa interior de retorno (TIR) del 40% y un valor actual neto (VAN) de 23 M € para una vida útil de la planta de 30 años. El biodiésel presenta muchos beneficios ambientales: es biodegradable, no es tóxico y no incrementa el contenido en CO₂ en la atmósfera, ya que el que se emite en el proceso de combustión es nuevamente absorbido para la formación de la materia prima del carburante.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO
Departamento de Energía



E. T. S. DE INGENIEROS
DE MINAS DE OVIEDO

ÍNDICE

RESUMEN

1. DEFINICIÓN BIOCARBURANTES
2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA
3. MERCADO MUNDIAL
4. BIODIÉSEL
 - 4.1. MATERIAS PRIMAS
5. PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL
6. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIÉSEL
7. ESTUDIO DE RENTABILIDAD DE UNA PLANTA DE BIODIESEL EN ELDA (ALICANTE)
 - 7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
 - 7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO
 - 7.3. RENTABILIDAD
8. MEDIDA Y CÁLCULO DE EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO PRODUCIDAS POR EL GASÓLEO Y EL BIODIÉSEL
9. CONCLUSIONES
10. BIBLIOGRAFÍA



1. DEFINICIÓN DE BIOCARBURANTES

Son combustibles producidos a partir de la biomasa y considerados, por tanto, como una energía renovable. Los biocombustibles se pueden presentar en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales), líquida (bioalcoholes, biodiesel) o gaseosa (biogás, hidrógeno).

Tipos de biocarburentes:

- Etanol (destilado de vegetales y residuos).
- Metanol (destilado de la madera y pirólisis de vegetales y residuos).
- Metano (gas que resulta de la descomposición de residuos y fangos de depuradoras).
- Bioaceites (aceites extraídos de plantas como la soja, el girasol, la oliva, el cáñamo, etc.).
- Biodiésel (producto que se obtiene de la transesterificación de aceites vegetales).

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

La utilización de los biocombustibles líquidos es tan antigua como la de combustibles de origen fósil y de los motores de combustión. Así, cuando ahora hace más de 100 años Rudolf Diesel diseñó el prototipo del motor que lleva su nombre y lo presentó en la Exposición Mundial de París (1900), ya estaba previsto que funcionara con aceites vegetales. De hecho, las primeras pruebas, se hicieron con aceite de cacahuete (maní).

Por otra parte, cuando el petróleo irrumpió en el mercado era barato, aceptable para su eficiencia y de fácil disponibilidad. Ello determinó que uno de sus derivados, el gasóleo, rápidamente se convirtiera en el combustible más utilizado en el motor diesel.

En 1908, Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil Model T que utilizaría etanol como combustible. De 1920 a 1924, la Standard Oil Company comercializó gasolina con un 25 % de etanol que se vendería en toda el área de Baltimore. Sin embargo, los elevados precios del maíz, del cual se extraía el etanol, junto con las dificultades de almacenamiento y transporte, hicieron abandonar el proyecto.

A finales de la década de los veinte y durante toda la de los treinta, se hicieron esfuerzos para recuperar sin éxito esta iniciativa. A raíz de la caída del etanol, Henry Ford y diversos expertos unieron fuerzas para promover su recuperación construyendo una planta de fermentación en Atchinson (Kansas), con un potencial para fabricar 38.000 litros diarios para su uso en automoción. Durante estos años, más de 2.000 estaciones de servicio en el Medio Oeste vendieron este etanol hecho de maíz que denominaron "gasol". La competencia de los bajos precios del petróleo obligó al cierre de la planta a mediados de los años cuarenta. A partir de entonces el combustible utilizado fue la gasolina pura.

La crisis de los recursos petrolíferos ha sido el motor de desarrollo en la evolución de los biocarburentes. El terrorismo global y la división de los países en ricos y pobres, tienen mucho que ver con la concentración territorial de los combustibles fósiles y la dependencia que de ellos se tiene. Potenciando la producción de biocombustibles se



contribuye a redistribuir la riqueza y a minimizar la dependencia de los recursos no renovables.

El agotamiento en el futuro de las fuentes de energía tradicionales, el incremento de las emisiones de contaminantes (que se sitúan por encima de la capacidad de regeneración de los ecosistemas) y el hecho de que dos terceras partes de las reservas petrolíferas están en la inestable región del golfo Pérsico hablan por sí solas de la necesidad de encontrar nuevas alternativas energéticas.

El año 1973 pasó a la historia por la fuerte crisis del petróleo asociada a la segunda guerra árabe-israelí. Durante este periodo, el precio de la gasolina, que se había mantenido prácticamente constante durante cinco años en los países industrializados, se dobló en sólo tres meses. El mundo desarrollado entero se resintió y los sectores más radicales comenzaron a defender sus intereses. La escasez de este recurso no renovable hizo peligrar el suministro y este hecho supuso la búsqueda de combustibles sustitutivos a los derivados del petróleo.

A finales de 1979 y como consecuencia de la segunda crisis del petróleo, los combustibles alternativos se convirtieron en la solución al posible problema que representaba el agotamiento de los recursos no renovables. Así, la American Oil Company y otras empresas importantes del sector, comenzaron a comercializar la mezcla de etanol gasolina.

En Brasil, la crisis del petróleo también tuvo una fuerte repercusión. En el año 1975 se encauzó el proyecto Proalcool, cuyo objetivo era la sustitución total de los combustibles de origen fósil. La alternativa propuesta era el bioetanol proveniente de la melaza de la caña de azúcar. Esta nueva industria permitió la creación de casi un millón de puestos de trabajo, repartidos en más de 700 destilerías, instalaciones complementarias, redes de transporte y fabricación de motores específicos para estos combustibles.

La aparición de una nueva crisis del petróleo relacionada con el principio de la guerra irano-iraquí a principios de la década de los ochenta provocó una nueva disminución del consumo que se recuperó a finales de los ochenta, gracias al abaratamiento del precio del crudo. Esto comportó el abandono de las estrategias de ahorro y eficiencia iniciados en el 1973. La década de los noventa comenzó con una nueva crisis. Esta vez derivada de la invasión de Kuwait por Irak.

Los biocombustibles se introdujeron en Europa en el año 1985. El objetivo era sustituir el 25 % del combustible fósil por bioetanol. Su aplicación no fue aprobada por cuestiones de rentabilidad y coste, sin embargo, se dedicaron sustanciosos fondos para la investigación y desarrollo de estas tecnologías. Una interesante medida fue la propuesta a través de la directiva Scrivener, que consistía en la desgravación del bioetanol en valores próximos a los combustibles fósiles y así facilitar su competitividad. Esta medida ha tenido aplicaciones parciales en Italia, Francia, Alemania y Austria, donde se han desarrollado experiencias pioneras.

3. MERCADO MUNDIAL

El uso de los biocarburantes está evolucionando actualmente hacia un mercado a escala mundial, emergiendo desde la utilización aislada en países como Brasil, Estados Unidos o China, a la Unión Europea. La principal barrera a su desarrollo es la del coste.

El potencial negocio del biodiésel en el mundo es en este momento de $41 \cdot 10^9$ litros anuales. España es ya el décimo país con una producción anual potencialmente disponible de 1.073 millones de litros a un precio de producción de 1,71 dólares/l. No sólo España se beneficia considerablemente de este negocio, en el "Top-10" figuran los países de la Tabla 3.1.

PAISES	Producción de biodiésel(mil millones de litros)
Malasia	14,5
Indonesia	7,6
Argentina	5,3
USA	3,2
Brasil	2,5
Holanda	2,5
Alemania	2
Filipinas	1,3
Bélgica	1,2
España	1,1

Tabla 3.1 Producción de biodiésel de los principales países.

Fuente: SAGPyA.(2006)

Los países en vías de desarrollo son los que más pueden beneficiarse de este incipiente negocio de exportación de materia prima y/o biodiésel, gracias a que ya son los mayores productores de aceites vegetales para otras industrias (alimentación, cosmética...), y a sus bajos precios de coste, lo que supondrá un gran impacto para sus economías. Especialmente Malasia, Tailandia, Colombia, Uruguay y Ghana pueden mejorar sustancialmente sólo a raíz de la exportación de biodiésel. La U E es uno de los grandes destinatarios, ya que no es capaz de abastecer la demanda de esta emergente industria. Aún así, la producción europea que experimentó un aumento durante 2004 de más del 25% con respecto al año anterior, fue de 2.424.440 toneladas de biocarburantes, cifra todavía escasa si se tienen en cuenta los objetivos propuestos para el 2010.



De los once países comunitarios productores de biodiésel, los principales fueron por este orden: Alemania, con $1.035 \cdot 10^3$ toneladas; Francia, con $348 \cdot 10^3$ toneladas e Italia con $320 \cdot 10^3$ toneladas (Tabla 3.2)

País	Capacidad instalada (tn/año 2000)	Producción (tn/año 2000)
Alemania	550.000	415.000
Francia	290.000	286.000
Italia	240.000	160.000
Bélgica	110.000	86.000
Inglaterra	2.000	2.000
Austria	20.000	20.000
Suecia	11.000	6.000
Checoslovaquia	47.000	32.000
Total	1.270.000	1.005.000

Tabla 3.2 Principales productores de biodiésel.

Fuente: EurObserv'ER.(2005)

4. BIODIÉSEL

El término biodiésel engloba a los siguientes productos cuando son utilizados como combustibles diesel:

- Aceites vegetales.
- Aceites vegetales mezclados con gasóleo en proporciones variables.
- Aceites vegetales mezclados con disolventes formando microemulsiones.
- Productos resultantes de la pirólisis de aceites vegetales.
- Ésteres metílicos o etílicos preparados a partir de aceites vegetales o grasas animales.
- Ésteres metílicos o etílicos, a partir de aceites vegetales o grasas animales, mezclados producidos con gasóleo en proporciones variables.

El término biodiésel se refiere a los ésteres metílicos o etílicos obtenidos por transesterificación de aceites vegetales, tanto puros como usados, o de grasas de animales. En cuanto a las mezclas de éstos con gasóleo, es preferible no incluirlas en el término biodiesel y referirse a ellas como tales señalando las proporciones respectivas.



La terminología más usada consiste en nombrar a la mezcla con la B (de Biodiésel) seguida de la proporción del mismo en la mezcla. Así, por ejemplo, la mezcla B20 es la que está formada por un 20% de biodiésel y un 80% de combustible Diesel, y el B100 es el biodiésel puro.

4.1. MATERIAS PRIMAS

Según su origen se pueden distinguir dos grandes grupos de materias primas para la elaboración del biodiésel. En el primero se podrían incluir los aceites usados de fritura o los aceites vegetales de final de campaña (aceite de oliva de gran acidez). Sin embargo, el volumen de este tipo de residuos es limitado y por ello la tendencia actual apunta hacia una mayor utilización de los aceites vegetales puros cultivados expresamente para su uso energético.

Las principales materias primas para la elaboración de biodiésel son las siguientes:

- Aceites vegetales convencionales de
 - Girasol
 - Colza
 - Soja
 - Coco
 - Palma

Son fundamentalmente, los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos), el coco (Filipinas) y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*Brassica napus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*Helianthus annuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia.

- Aceites vegetales alternativos de
 - Brassica carinata*
 - Cynara cardunculus*
 - Camelina sativa*
 - Crambe abyssinica*
 - Pogon*
 - Jatropha curcas*
- Aceites de semillas modificadas genéticamente
- Aceite de girasol de alto oleico
- Grasas animales
 - *Sebo de vaca*
 - *Sebo de búfalo*
- Aceites de fritura usados
- Aceites de otras fuentes
 - *Producciones microbianas*
 - *Microalgas*

5. PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

Aunque en sentido amplio, el biodiésel se ha relacionado en ocasiones con la utilización de aceite vegetal puro sin embargo, desde un punto de vista estricto, el término biodiésel se refiere de forma exclusiva al éster metílico producido a partir de un aceite vegetal o animal, que cumple la norma UNE-EN-14214. El aceite vegetal puro, por su parte, presenta similitudes con el gasóleo de origen fósil. Por ello se puede utilizar en motores diesel, si bien es necesario realizar en ellos modificaciones considerables. El aceite esterificado posee una mayor similitud de propiedades con el gasóleo.

Se considera seguidamente los procesos de producción más valorados de este biocombustible.

El método utilizado comercialmente para la producción de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcoholísis) aunque sea posible también obtenerlo por esterificación. La primera consiste en la reacción de los aceites o grasas (triglicéridos con un número de átomos entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con un alcohol de bajo peso molecular (casi siempre metanol,) en presencia de un catalizador alcalino (generalmente NaOH) para producir ésteres y glicerina. Normalmente se trabaja a presión atmosférica y temperatura de unos 65°C. El proceso se realiza bajo constante agitación, durante un tiempo que oscila entre una y doce horas. La transesterificación consta de tres reacciones consecutivas y reversibles (Figura 5.1) y se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1 (aunque se añade una cantidad adicional del primero para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico). El triglicérido es el principal componente del aceite vegetal o la grasa animal. Además, la formación de la glicerina, inmiscible con los ésteres de bajo peso molar, juega un papel importante para alcanzar conversiones cercanas al 100%.

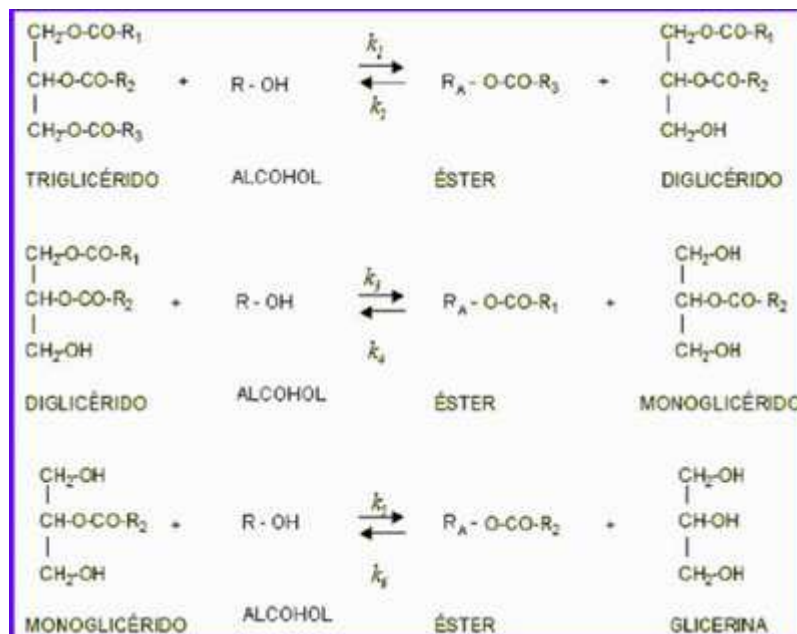


Figura 5.1. Reacciones entre las grasas y el alcohol.

Fuente: Comisión del biodiesel(2007)

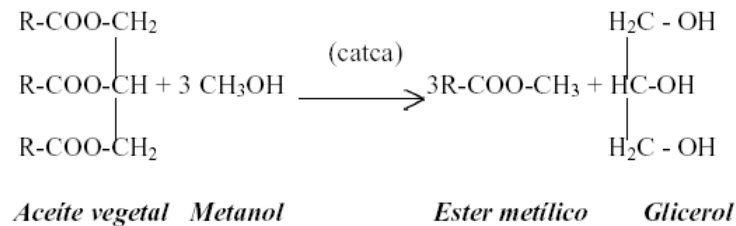
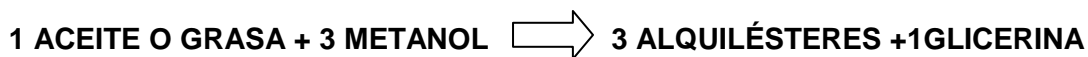


Figura 5.2 Reacción de transesterificación

Fuente: www.biodiesel-uruguay.com.(2007)

La expresión general de la estequiometría molar de la transesterificación con metanol es la siguiente:



R es un radical de cadena lineal con o sin dobles enlaces, que pueden ser iguales o distintos. En este caso se tendría un triglicérido denominado mixto. Tradicionalmente se alude a los aceites cuando dichas sustancias son líquidas a temperatura ambiente, y a grasas cuando son sólidas.

El alcohol que se utiliza generalmente es el metanol, por ser el más económico, motivo por el cual, este proceso se denomina metanólisis, en el que se producen los ésteres metílicos de los ácidos grasos, constituyentes del biodiesel que se conocen como MEAG (metil ésteres de los ácidos grasos), o bien FAMES (fatty acid methyl esters).

La producción de biodiésel que se puede generar a partir de un determinado número de litros de aceite, es aproximadamente del 80% en peso de los mismos. El coproducto originado, la glicerina, que se separa del biodiésel, tiene un valor económico añadido que compensa parte de los gastos de purificación, ya puede utilizarse en la fabricación de cremas para las manos, jabones, pastas dentífricas, lubricantes, etc.

Además se pueden dar reacciones secundarias como son:

- Reacción de saponificación
- Reacción de neutralización de ácidos grasos libres

El triglicérido reacciona con el catalizador básico, consumiendo éste, en presencia de agua dando lugar a la formación de jabones (reacción de saponificación), tal y como se puede ver en la figura 5.3:

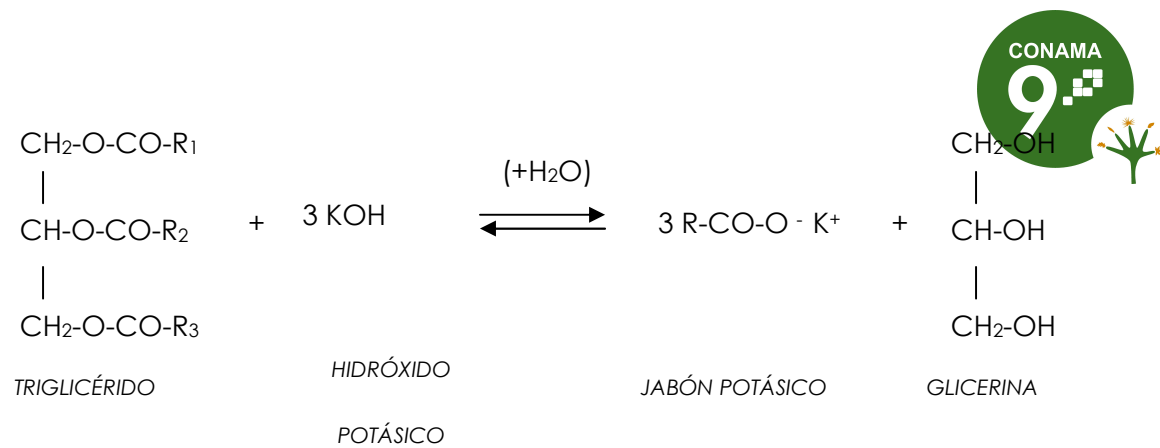


Figura 5.3 Reacción de saponificación

Fuente: www.biodieselspain.com(2007)

La saponificación se ve favorecida cuando se opera con hidróxido potásico o sódico, ya que los iones OH^- son los responsables de esta reacción. Por tanto, al utilizar estos catalizadores, se debe tener especial precaución con las condiciones en que se produce la reacción, especialmente la temperatura y la concentración, para reducir al máximo la saponificación. Los metóxidos sólo contienen el grupo OH, lo que determina que operando con ellos prácticamente no se producen jabones. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones. Ésta se debe eliminar, mediante evaporación, en los aceites con altos contenidos en humedad, antes de llevar a cabo la transesterificación.

Hay dos maneras de eliminar los ácidos grasos libres presentes en el aceite. Una es por neutralización, en presencia de agua. Otra es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido formando éster metílico (Figura 5.4)

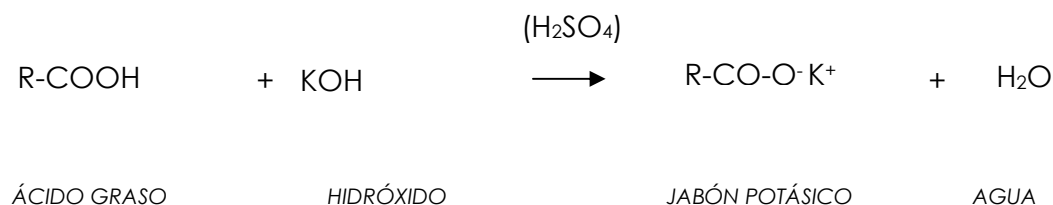


Figura 5.4 Reacción de neutralización de ácidos grasos libres

Fuente: www.biodieselspain.com(2007)



6. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL

Las propiedades del biodiésel varían según la materia prima a partir de la cual se ha obtenido (aceites vegetales nuevos o usados de distinto origen o grasas animales). Podemos enumerar, entre otras, las siguientes propiedades:

- Libre de contaminación
- Lubrica los motores
- Es sencilla su elaboración
- Genera mano de obra
- Es biodegradable
- Su producción es renovable
- Puede emplearse puro o combinado
- No contiene azufre
- Mejora la combustión
- Prolonga la vida de los motores
- No es excesivamente inflamable
- Genera independencia económica y energética
- No emite gases nocivos
- No es irritante para la piel
- Tiene un aroma agradable

Las ventajas de la utilización del biodiésel son las siguientes:

1. Es un combustible renovable, y por lo tanto tiene un ciclo cerrado de CO_2 , ya que su combustión generará solamente la cantidad del que las plantas fueron capaces de metabolizar mediante la fotosíntesis durante su crecimiento. Además su proceso de producción implica unas emisiones inferiores de CO_2 ya que el contenido en carbono para el biodiesel procedente de las plantas se estima en el 77.8%, y en el procedente de grasas animales el 76.1% mientras que el petrodiesel tiene un 86.7%.
2. El balance energético que produce 1 kg de biodiésel y la energía consumida para su producción, desde la fase agrícola hasta la industrial, es positivo.
3. Es el único combustible líquido que no presenta efectos nocivos conocidos contra el medio ambiente (se biodegrada entre el 85 y 88%, en 28 días).
4. Tampoco afecta a la salud humana ya que no es tóxico, pues el test LD50 (Letal Dose), da una dosis permitida superior a 17.4 g/kg de peso corporal.
5. Es el único combustible alternativo que puede utilizarse de manera convencional sin necesidad de modificar el motor diesel.
6. Puede ser almacenado en los mismos recipientes que el diesel refinado del petróleo.
7. Puede usarse sólo, o mezclado con el gasóleo en cualquier proporción.
8. Las emisiones de CO respecto del gasoil, también son menores en un 50%.
9. Las emisiones de compuestos sulfurados disminuyen, incluso hasta el 100% en el caso del biodiésel, clasificado como combustible limpio, en el que el contenido de S es nulo.
10. Las emisiones de hidrocarburos inquemados (HI) pueden llegar a reducirse en un total del 90%.
11. Es un combustible oxigenado que posee al menos un 11%, de oxígeno en peso más que el gasoil, lo que implica una mejor combustión, y por tanto la opacidad del humo es menor.
12. Aumenta la vida útil de los motores diesel debido a que tiene mayor capacidad de lubricación.
13. Su transporte y almacenamiento es mucho menos peligroso que el gasóleo, ya que su punto de inflamación está en el orden de los 140°C.

Además de estas ventajas existen otras de tipo macroeconómico como las que se indican a continuación:

- a) Diversificación energética. Cuestión importante en aquellos países que presentan carencias de combustibles fósiles derivados del petróleo.
- b) Fomenta la agricultura y ofrece la posibilidad de desarrollar algunas áreas rurales que por lo general están marginadas.

Las desventajas más relevantes con relación al diésel de origen fósil son las siguientes:

1. El coste .Su producción es, en principio, más cara siempre y cuando no se superen determinados límites en el precio del barril de petróleo.
2. Necesita más aditivos, sobre todo en climas fríos, debido a sus relativamente elevados Punto de Nube (Cloud Point) y POFF.
3. Tiene una menor estabilidad en almacenamientos prolongados, ya que se enrancia por oxidación atmosférica y bacteriana, formándose productos como aldehídos, cetonas y ácidos, que tienen olores muy fuertes y desagradables.
4. Debido a su menor poder calorífico, se requieren 1.1 l de biodiesel por cada litro de petrodiesel reemplazado.
5. Es incompatible con ciertos elastómeros como las siliconas y gomas naturales, a las que ablanda y degrada. También hay pinturas a las que disuelve.
6. Diluye el aceite de lubricación mucho más que el gasóleo, pues parece haber una tendencia del biodiésel no quemado a mezclarse con el aceite lubricante.
7. Produce más NOx. Los valores de este último depende del tipo de cultivo del que provenga el biodiesel y de la proporción del mismo en la mezcla .

Combustible	CO		Total HC		NOx		Partículas	
	g/Kg	Dif(%)	g/kg	Dif(%)	g/kg	Dif(%)	g/kg	Dif(%)
Gasoil	0.634		0.146		0.986		0.083	
B20	0.574	-12	0.128	-20	0.991	+2	0.078	-12
B100	0.497	-48	0.058	-67	1.025	+10	0.072	-47

Tabla 6.1 Comparación entre las emisiones del Biodiésel y el Gasóleo

Método analítico: NOx Quimiluminiscencia, CO Infrarrojos e HC ionización de llama.

Fuente: Ampliación de combustibles. ETSIMO(2008)

7. ESTUDIO DE RENTABILIDAD DE UNA PLANTA DE BIODIESEL EN ELDA (ALICANTE)

Para establecer la rentabilidad económica y medioambiental que nos reporta la construcción de una planta de biodiésel a partir de aceites vegetales, se toma como modelo de referencia la Planta de Biodiésel de Elda (Alicante) llamada Biocemsa. Esta planta pertenece al grupo empresarial Combustibles Ecológicos del Mediterráneo, S.A. que ha invertido en ella un total de 4.500.000 €, con la aportación del grupo accionista Ecomcombustibles S.L.



*Figura 7.1 Vista final de la planta Biocemsa en Elda.
Fuente: Bm Ingeniería Técnica. (2008)*

La planta, tiene una capacidad de producción nominal de 20.000 t de biodiésel al año y 2000 t de glicerol, lo que supone un flujo de 1500 camiones anualmente, equivalente a siete u ocho al día, y entre quince y veinte puestos de trabajo. Las perspectivas son seguir aumentando la producción de biodiésel hasta llegar a 50.000 t/año, con un calendario de trabajo efectivo de 8000 horas anuales. El 15 ó 20 % del total se produce a través de aceites reciclados procedentes de freidurías, dependiendo de la calidad de las materias primas, y el resto se fabrica a partir de aceites vegetales como el de girasol, colza, aceite de palma, etc.

Del proceso también se obtiene glicerina, con una concentración del 80%, estimándose una producción anual de glicerol del 10% en la producción de biodiésel, es decir 2000t/año.

Esta producción se distribuye a través de cuatro vías: un 25% dirigido a grandes consumidores o grandes flotas de transporte, un 25% a organismos oficiales para transportes públicos, un 25% a empresas operadoras y el 25% restante se exporta.



7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El método de fabricación biodiesel de la planta con un volumen de producción en torno a 20.000 t/año es por etapas múltiples, basado principalmente en una reacción de transesterificación y posterior separación de los productos por diferencia de densidades.

El proceso tiene las siguientes etapas:

1. **Recepción de los aceites vegetales y de fritura**, que son traídos hasta la planta por medio de camiones.
2. **Almacenamiento pulmón de los aceites**, en tanques situados en el exterior de la planta.
3. **Pretratamiento de los aceites**, con el fin de eliminar las impurezas indeseables y perjudiciales para el proceso de transesterificación. Los aceites se someten a un proceso de secado, con el fin de reducir el exceso de agua, hasta contenidos del 3%.
4. **Transesterificación del aceite**, en los reactores donde se lleva a cabo la reacción. Está prevista una disponibilidad de 8.000 horas anuales y una producción de 200 t/día de biodiesel (producción anual estimada de 20.000 t/año a principios de la puesta en marcha).

El proceso parte del aceite refinado que se transforma en biodiésel por medio de un proceso catalítico de etapas múltiples, utilizando metanol (10% de la cantidad de aceite procesado). En el reactor se mezclan el aceite con el metanol necesario para la transesterificación, más un pequeño exceso del mismo, y el catalizador.

El producto de la reacción, compuesto por el metiléster, la glicerina, el metanol en exceso y el catalizador, debe ser neutralizado. Para ello se mezcla con un ácido mineral en la cantidad necesaria. Posteriormente, se despoja al producto de los volátiles, compuestos fundamentalmente por el alcohol metílico en exceso. Los vapores de metanol se condensan y se envían al tanque de almacenamiento, del cual será nuevamente introducido en el ciclo. Las siguientes fases tienen como objetivo obtener el biodiesel libre de agua y glicerol.

5. **Almacenamiento del biodiesel** obtenido, en depósitos con cobertura de nitrógeno, con el fin de evitar su oxidación. La carga de los camiones prevista también se realizará con inyección de nitrógeno para evitar su degradación durante el transporte.

En la figura 7.1.1 queda reflejado el diagrama de flujo del proceso, utilizando el método por etapas múltiples.

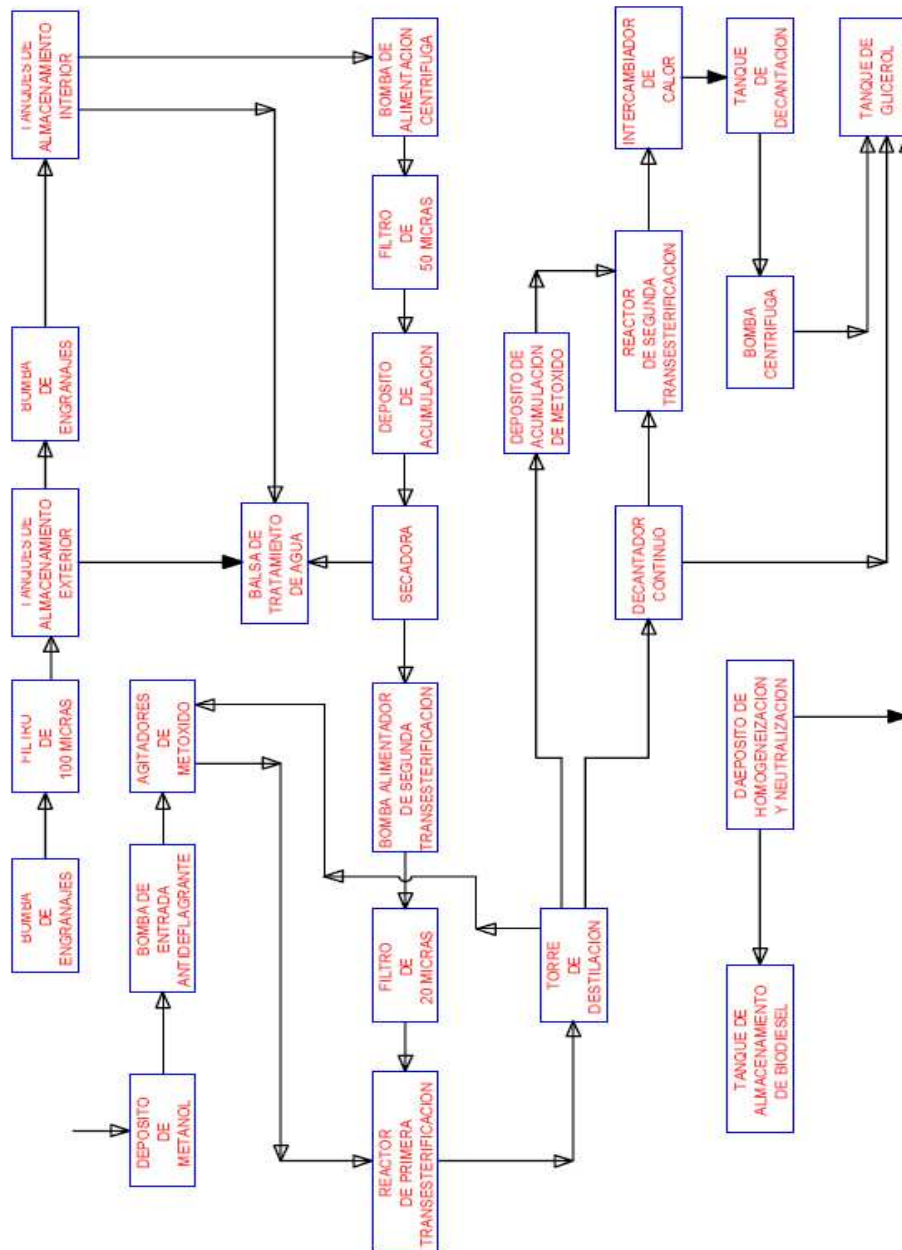


Figura 7.1.1. Diagrama de flujo del proceso por etapas múltiples.

Fuente: Bm Ingeniería Técnica. (2007)

El aceite necesario para esta producción, se estima que estará compuesto por:

- 20-15% de aceites de fritura.
- 80-85% de aceites vegetales.

El balance de materia del proceso antes descrito y el diagrama completo de flujo se indica en la Figura 7.1.2:

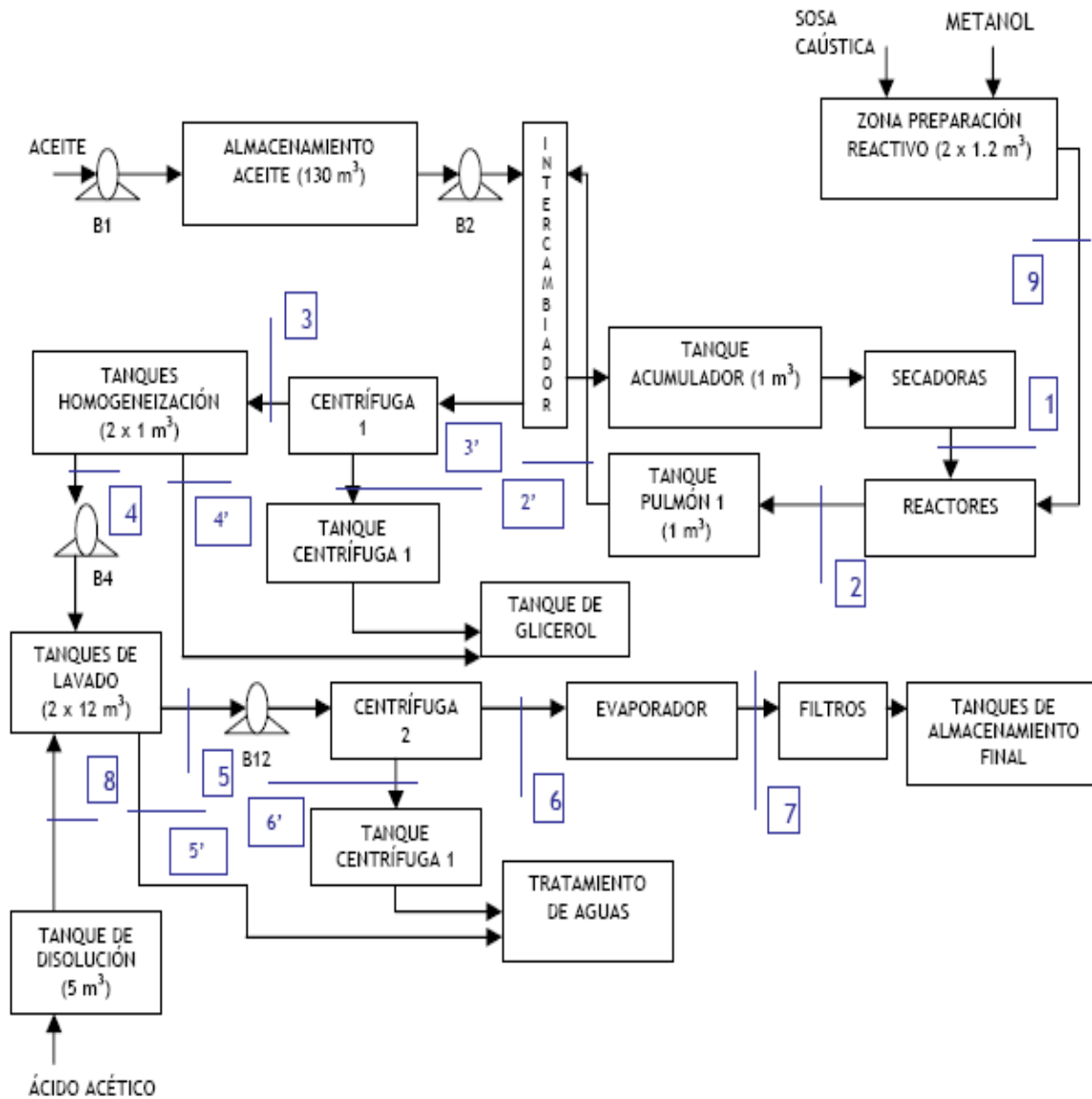


Figura 7.1.2 Diagrama completo de flujo.

Fuente: Elaboración propia(2008)

-Base de cálculo: 1 reactor → 400 litros=356 kg de aceite

Corriente (kg)	1	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'	7	8	9
Aceite	356	12.46	12.46	12.46	-	12.46	-	12.46	-	6.23	6.23	6.23	-	-
Metanol	-	21.07	4.21	1.52	2.69	1.52	-	1.52	-	1.52	-	-	-	55.44
NaOH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.85
Biodiesel	-	343.54	343.54	343.54	-	343.54	-	343.54	-	343.54	-	343.54	-	-
Glicerol	-	35.72	35.72	7.15	28.57	7.14	0.01	7.14	-	3.57	3.57	3.57	-	-
Agua	7.12	7.12	7.12	7.12	-	7.12	-	88.35	4.65	2.265	86.08	0.07	-	-
Dis. ácida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85.88	-

Tabla 7.1.1. Resultado del balance de materia.

Fuente: Bm Ingeniería Técnica. (2007)

$$\eta_{reactor} = \frac{kg_{biodiesel}}{kg_{aceite}} = \frac{343,54}{356} \cdot 100 = 96,5\%$$



7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico es imprescindible a la hora de iniciar un proyecto. Para ello, se han de analizar pormenorizadamente los costes del proceso de producción así como los posibles beneficios.

Para este análisis se deben considerar los siguientes factores principales:

- Coste de la materia prima (aceites) regidos por precios internacionales.
- Costes de procesamiento, producción y almacenamiento del biodiesel.

Variables en función de la tecnología aplicada.

- Proporción final de biodiésel en el combustible final.
- Carga impositiva aplicada al producto final.

- Costes de distribución y comercialización.

Supuestos generales:

- Producción de biodiésel: 20.000 t/año.
- Densidad del biodiésel a 15°C (UNE-EN 14214) = 0,885 g/cm³.
- Precio de venta del biodiésel: 0,67€/l
- Producción de glicerol = 10% de la producción de biodiésel = 2.000 t/año.
- Precio de venta del glicerol: 20€/t.

Costes por cada litro de biodiésel producido:

Aceite: 0,52 €/l de biodiésel producido.

400 litros entrada aceite (T=65°C, $\rho = 0,887\text{g/cm}^3$) = 355 kg entran reactor.

Precio aceite = 550 €/t → 195 €.

Salida reactor 400 litros Biodiésel (T= 65°C, $\rho = 0,83\text{g/cm}^3$) = 332 kg.

A T=15°C (Norma UNE-EN 14214) $\rho = 0,885\text{g/cm}^3$ 375 l biodiésel.

195€/375l = 0,52€/l.

Metanol: 0,038€/litro de biodiésel producido.

70 L metanol ($\rho = 0,79\text{g/cm}^3$) = 55 kg entran - 15 kg se recuperan = 40kilos de metanol se gastan

Precio metanol = 360 €/t → 14,4 €

14,4€/375 l = 0,038€/l

Sosa cáustica: 0,002€ /l de biodiésel producido.

2 kg sosa cáustica

Precio sosa = 400€ /t → 0,8 €

$0,8\text{€}/375\text{ l} = 0,002\text{€ /l}$

Consumo energético:

- **Energía eléctrica:** 0,00074 €/l de biodiésel producido.

$20\text{ kW} \times 2\text{ h reacc.} = 40\text{ kWh} / 375\text{ l biodiesel} = 0,106\text{ kWh/l biodiesel}$

$0,106\text{ kWh/l} \times 0,007\text{€ /kWh} = 0,00074\text{€ /l}$

- **Calor:** 0,0020€ /l de biodiésel producido.

Caldera de $10^6\text{ kcal/h} \times 0,70\% = 700.000\text{ kcal/h}$

Producc. anual estimada: $20.000\text{ t/año} \times 1\text{ año}/334\text{ d} \times 1\text{ d}/24\text{ h} = 2.495\text{ kg/h}$

$(\rho = 0,885\text{ g/cm}^3) = 2.819,2\text{ l/h}$ (334 días producción anual estimada)

$700.000\text{ kcal/h} \times 1\text{ h} / 2.819,2\text{ l} = 248,3\text{ kcal/l.}$

$248,3\text{ kcal/l} = 0,28875\text{ kWh/l} \times 0,007\text{€ /kWh} = 0,0020\text{ € /l.}$

Agua: 0,0001 €/l de biodiésel producido.

Consumo de agua: $375\text{ l biodiesel} \times 10\% \text{ consumo agua} = 37,5\text{ l.}$

Agua $1\text{€ /m}^3 \rightarrow 0,0375\text{ €}$

$0,375\text{€}/375\text{ l} = 0,0001\text{€ /l}$

Acético: 0,0129€ /l de biodiésel producido.



Precio Acético: 12,90€ /l

Consumo acético= 1% consumo agua = 0,375 l x 12,90€ /l = 4,8375 €

4,8375€/375 l = 0,0129 €/l

Personal: 0,017€ /litro de biodiésel producido.

20 personas

- 2 Ingenieros. Sueldo: 2.200 € (12 pagas) + seguridad social: 880€ =

3.080€ Total = 3.080€ x 2 = 6.160€ /mes.

- 2 Técnicos de laboratorio. Sueldo: 1.300 € (12 pagas) + seguridad

social: 520€ = 1.820€ Total = 1.820€ x 2 = 3.640€ /mes.

-1 Administrativo. Sueldo: 1.100 € (12 pagas) + seguridad social: 440€ =

1.540€/mes.

- 15 Operarios: Sueldo: 1.000 € (12 pagas) + seguridad social: 400 € =

1.400 € Total = 1.400€x 15 = 21.000€ /mes.

Total gastos de personal = (6.160€ + 3.640€ + 1.540€ + 21.000€) x 12
= 388.080€ / año

1año/20.000 t = 19,404 €/t = 0,017€/l.

Gasto total por litro de biodiésel producido = 0,592€ /l



Por tanto el beneficio obtenido en un año tipo será el conseguido de vender la producción de biodiésel (20.000 t) y de glicerol (2.000 t).

$$\text{Beneficio} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

$$\text{Ingresos} = \left(\frac{0,67\text{€}}{\text{lbiodiésel}} \cdot \frac{\text{cm}^3}{0,885\text{g}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{1\text{t}} \cdot \frac{1\text{l}}{10^3\text{cm}^3} \cdot 20.000\text{tbiodiésel} + \frac{20\text{€}}{\text{tglicerol}} \cdot 2.000\text{tnglicerol} \right) =$$

$$\text{Ingresos} = 15.181.242,94\text{€/año}$$

$$\text{Gastos} = \left(\frac{0,592\text{€}}{\text{lbiodiésel}} \cdot \frac{\text{cm}^3}{0,885\text{g}} \cdot \frac{10^6\text{g}}{1\text{t}} \cdot \frac{1\text{l}}{10^3\text{cm}^3} \cdot 20.000\text{tbiodiésel} \right) = 13.378.531,07\text{€/año}$$

$$\text{Beneficio} = 15.181.242,94 - 13.378.531,07 = 1.802.711,867\text{€/año}$$

7.3. RENTABILIDAD

Los elementos que intervienen en el cálculo de la rentabilidad son los que siguen a continuación:

- **Inversión:** Coste de la instalación, incluido el proyecto y los trámites administrativos. Ascende a 4.500.000 euros.
- **Subvenciones a la inversión:** Cantidad total recibida en forma de ayudas o subvenciones a fondo perdido. En este caso se considerarán nula a efecto de estudiar el periodo más desfavorable de recuperación de la inversión.
- **Costes de explotación:** Conjunto de gastos que supone la gestión y explotación de la planta de biodiésel. Para este tipo de proyectos se supone del 1% del coste total de la instalación y se contemplan los siguientes gastos:
 - Emisión de facturas.
 - Elaboración de las liquidaciones de IVA.
 - Póliza del seguro de responsabilidad civil sobre el valor de la instalación.
 - Mantenimiento preventivo y correctivo.

Valor actual neto (VAN)

Para el cálculo de la rentabilidad de la planta en euros constantes, se ha utilizado una tasa de interés del 5%, que es la usual para este tipo de proyectos, y no se ha contado la tasa de inflación. Se supone una vida útil de la instalación de 30 años.

El VAN se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1 + T.I.)^i}$$

Siendo:

I = Inversión inicial

Q = Flujo de caja (ingresos – gastos)

N = Número de años de vida de la instalación

T.I. = tasa de interés

El Valor Actual Neto (VAN) es un término que permite calcular el valor presente de un determinado flujo de caja futuro, es decir, actúa junto con el TIR (Tasa Interna de

Retorno) como indicador el nivel de rentabilidad de un proyecto. Si al final de la vida de la instalación, su VAN es positivo, quiere decir que se ha recuperado la inversión.

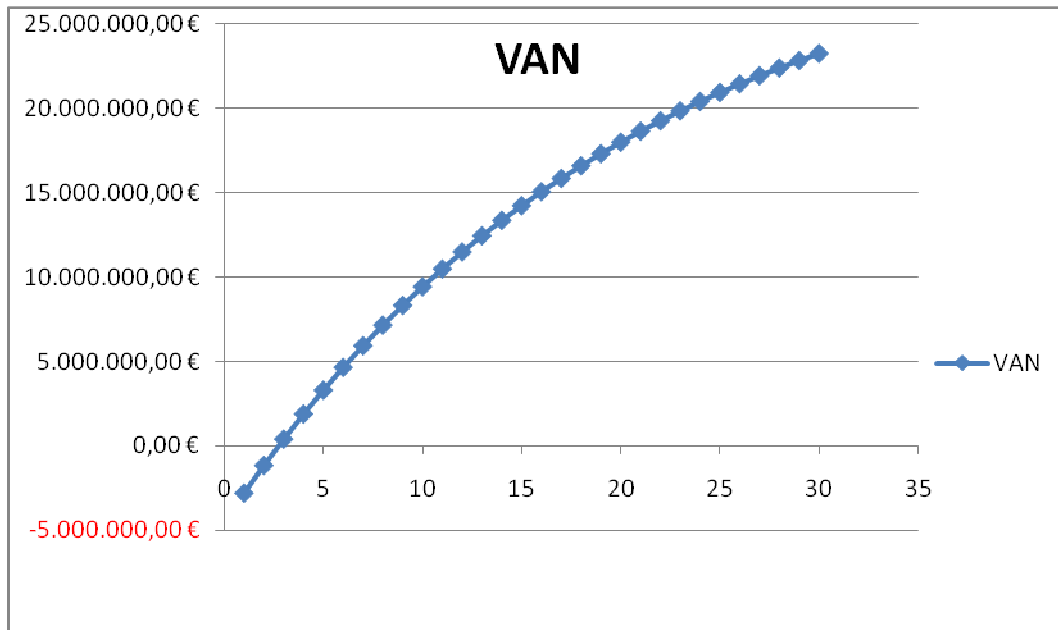


Figura 9.1. Evolución del VAN de la planta de biodiésel.
Fuente: Elaboración propia (2008)

De la Figura 9.1 se puede extraer el **periodo de retorno de la inversión**, que asciende a **2,5 años**.

En nuestro caso, se recupera la inversión de la planta puesto que:

VAN = 23.212.099,94 €

Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR o tasa interna de retorno es el valor de la tasa de interés (T.I.) que hace 0 el VAN y se calcula para toda la vida de la instalación. Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1 + TIR)^i} = 0$$

En el caso de la planta, su valor será de:

TIR = 40 %

8. MEDIDA Y CÁLCULO DE EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO PRODUCIDAS POR EL GASÓLEO Y EL BIODIÉSEL

La disminución de las emisiones durante el proceso de producción, depende de la materia prima empleada. Las mayores ventajas se logran reemplazando el diesel base con biodiesel proveniente de aceite de cocina desechado, lo que da lugar a una reducción de emisiones de un 87 %.

Al comparar las emisiones del gasóleo convencional con las del biodiésel, se puede observar que existe una gran reducción en las de CO₂ y que las de NO_x y partículas dan resultados parecidos en ambos casos.

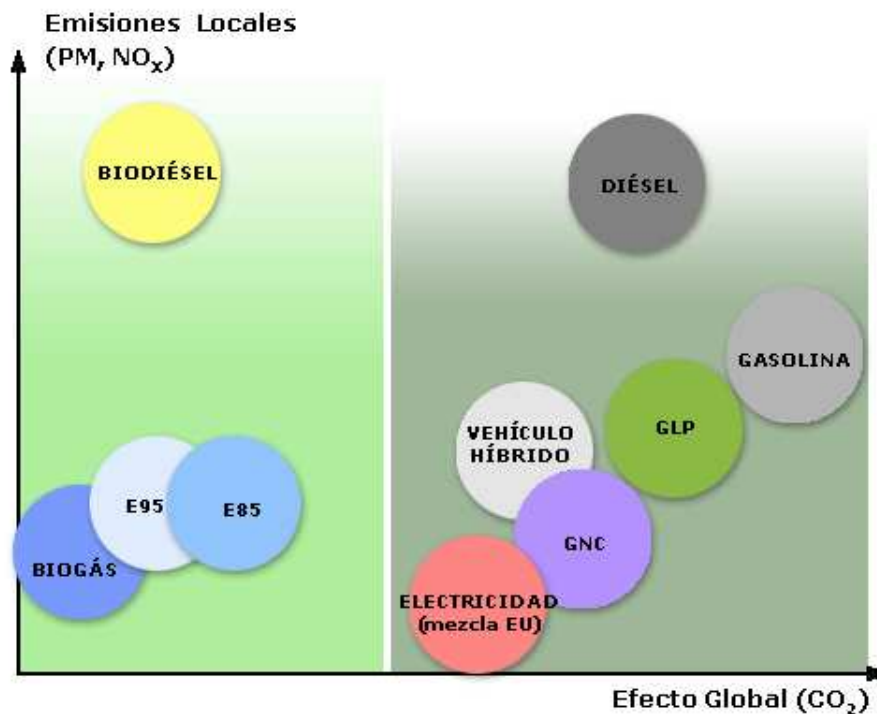


Figura 8.1 Comparación entre las emisiones del biodiésel y el diesel.

Fuente:www.eve.es.(2008)

En este caso, la planta proyectada a su máxima capacidad podrá producir 20.000 toneladas al año de biodiésel, lo cual significa que ayudará a reducir en 54.919 toneladas las emisiones de CO₂ que tendría un valor de mercado (comercio de emisiones y captura de CO₂) de 54.919 a 109.838 dólares. A estas características se suma la biodegradabilidad del producto, 90 % en 25 días y su muy baja toxicidad (100 veces menos que la sal y 300 que el gasóleo).

Para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero se utilizará la expresión:

$$E = Q \times FE \times P.C.I$$

FE: factor de emisión del combustible en estudio

Q: consumo del mismo

P.C.I. poder calorífico inferior.
La medida de las emisiones se expresa en t CO₂.

Los datos obtenidos son los siguientes:

Para el gasóleo:

Considerando que: $Q = 1 \text{ m}^3 = 835 \text{ kg}$ de gasóleo,

FE = 73,52 kg CO₂/GJ

P.C.I = 43,46 MJ/kg

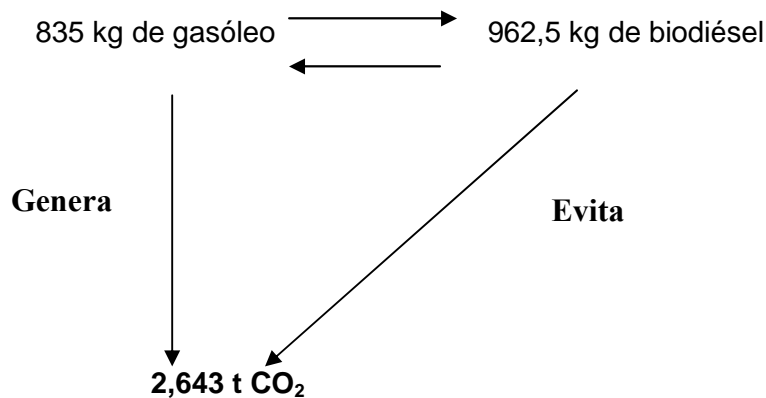
$E_1 = 835 \text{ kg} \times 43,46 \text{ MJ/kg} \times 73,52 \text{ kg CO}_2/\text{GJ} \times 1 \text{ GJ}/1000 \text{ MJ} = 2643,41 \text{ kg CO}_2 = 2,643 \text{ t CO}_2$

Para el biodiésel:

Considerando que: $Q = 1 \text{ m}^3 = 875 \text{ kg}$ de gasóleo.

Las emisiones de CO₂ evitadas para estos consumos de gasóleo y biodiesel, se obtienen a partir de las siguientes relaciones:

1000 litros de gasóleo equivale a 1100 litros de biodiésel



Así que si la planta produce 20.000 tn de biodiésel, se conseguirá reducir en un año un total de 54.919 tn de CO₂.

9. CONCLUSIONES

- El rendimiento total del proceso es del 96,5%, ya que de los 356 kg de aceite que entran en el reactor, se obtienen 343,54 kg de biodiesel; con un mayor exceso del catalizador se podría alcanzar el 98%
- Se obtiene una energía superior, al menos en un 30% al de la energía necesaria para producir el biodiésel.
- Para el periodo de vida de la instalación (30 años) se obtiene un TIR en torno al 40%.
- Es imprescindible la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan llevar a cabo el proceso con menor coste y mejorar el rendimiento en la producción de biodiesel.
- Los cálculos realizados confirman una notable reducción de las emisiones de CO₂ al sustituir el gasóleo por biodiésel.



10. BIBLIOGRAFÍA

- **Libros**

- [1] Los Biocombustibles. Manuel Campas Michelena. Mundi-Prensa, 2002.
- [2] Biocombustibles. María Castro Gil. Progensa, 1997.
- [3] Una Estrategia de Biocombustibles para España (2005-2010). Pricewaterhouse Coopers, 2005.
- [4] Biocarburantes en el transporte. IDAE. 2006
- [5] El Biodiesel: Una alternativa al transporte. Manuel Ángel López Díaz. Madu, 2005.
- [6] Producción de biodiesel: aplicaciones a países en desarrollo. Juri Herreras Yambanis. Ingeniería sin Fronteras, 2007.
- [7] Modelo de simulación y visualización del proceso de mezclado ultrasónico. Luis Fernando de la Torre Quintana. 2004.
- [8] Biodiesel ECO15, biodiesel 100% natural: usted puede mejorar el medio ambiente. BioNorte, 2007.
- [9] Biocombustibles: Utilización de los aceites vegetales como energía renovable. Luis Ángel Agejas Domínguez. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría Técnica, 1996.
- [10] Biocarburantes líquidos: Biodiesel y bioetanol. Juan Manuel García Camús. Dirección General de Universidades e Investigación, 2006.
- [11] Biocarburantes en el transporte: las relaciones con los sectores de la energía y de la agricultura. (EEA, 2004).

- **Páginas Web** (consultadas en mayo de 2008)

- [1] www.biodiesel.org
- [2] www.biofuels.com
- [3] www.biodieselpain.com
- [4] www.biocarburante.com/category/biodiesel/
- [5] www.biodiesel-uruguay.com
- [6] www.bionor.es
- [7] www.biocemsa.es
- [8] www.biodiesel.com.ar/
- [9] www.biocarburantesmagazine.com



[10] miliarium.com/Monografias/Biocombustibles/Biodiesel/Biodiesel.asp

[11] www.cener.com

[12] www.idae.es

[13] www.mityc.es/secciones/sg_energia.htm

[14] www.cne.es

[15] www.crest.org

[16] www.conocimientosweb.net/dcmt/ficha5355.html

[17] www.taringa.net

[18] www.necrocombustibles.com

[19] www.sagpya.mecon.gov.ar