05-032

FEASIBILITY STUDY AND DESIGN OF A BIODIESEL PRODUCTION PLANT FROM OIL OF MORINGA OLEIFERA SEED

Garcia-Fayos, Beatriz; Arnal Arnal, Jose Miguel; Felipe-Blasco, Alejandro; Sancho-Fernandez, Maria

Universitat Politècnica de València

The increase of the world population and, therefore, energy consumption along with the scarce and finite reserve of fossil fuels as well as the high environmental impact associated with its use, have promoted the existing interest and need to find and utilize alternative energies. Moringa oleifera, is an oleaginous plant of rapid growth and high adaptation to the climate, which is presented as an alternative to the production of biofuels. Its processing into biodiesel allows to enhance the oil-solvent mixture obtained as by-product during the extraction of an active compound present in the seed that is used in water treatment. This work, based on a study of the current energy context and the energetic alternatives to the use of traditional energy sources, designs a facility for the production of biodiesel based on a catalytic process with Moringa oleifera oil as raw material. We have been defined, measured and quantified the necessary stages for the process taking into account current legislation and the characteristics of the product obtained. Finally, the feasibility study of the project to obtain competitive fuel in today's market is discussed.

Keywords: *Biodiesel; Moringa oleifera; oil; seed*

ESTUDIO DE VIABILIDAD Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE MORINGA OLEÍFERA

El aumento de la población mundial y, por ende, del consumo de energía junto con la escasa y finita reserva de combustibles fósiles así como el elevado impacto ambiental asociado a la utilización de éstos, han provocado el existente interés y necesidad por buscar y utilizar energías alternativas. Moringa oleífera, es una planta oleaginosa de rápido crecimiento y gran adaptación al clima, que se plantea como una alternativa para la producción de biocarburantes. Su procesamiento para la transformación en biodiesel permite revalorizar la mezcla aceite-disolvente obtenida como subproducto durante la extracción de un compuesto activo coagulante presente en la semilla muy utilizado en el tratamiento del agua. Este trabajo, partiendo de un estudio del contexto energético actual y las diversas alternativas enérgicas al empleo de fuente de energía tradicional presenta el diseño de una instalación para la producción de biodiesel fundamentado en un proceso catalítico con aceite de Moringa oleífera como materia prima. Para ello se han definido, dimensionado y cuantificado las etapas necesarias del proceso con especial atención a la legislación vigente y las características del producto obtenido. Finalmente se presenta el estudio de viabilidad del proyecto para la obtención competitiva del carburante en el mercado actual.

Palabras clave: *Biodiesel; Moringa oleifera; aceite; semilla*

Correspondencia: José Miguel Arnal jarnala@iqn.upv.es

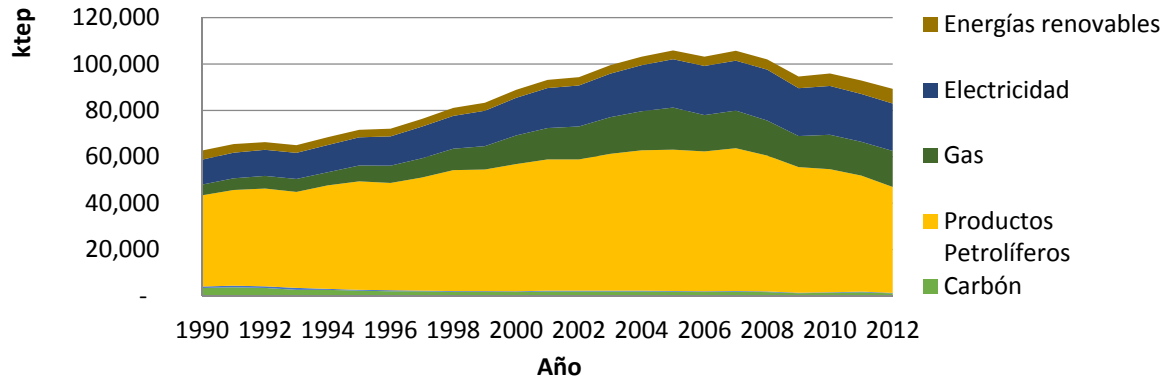
1. Introducción

La sociedad del siglo XXI es una sociedad en constante desarrollo y ello lleva implícito un aumento del consumo energético para cubrir la demanda de la población. Un consumo principalmente motivado por el aumento de la demografía y el crecimiento económico.

El sistema energético definido como el conjunto de recursos económicos, materiales y humanos que intervienen en el abastecimiento energético de las colectividades; comienza con la extracción o captación de la energía primaria, que tras ser almacenada, pasa a la etapa de conversión para la producción de energía final o secundaria. Esta última es distribuida y es la empleada por el consumidor.

La evolución de las últimas dos décadas, pone de manifiesto que el principal consumo energético siempre ha sido atribuido a los productos petrolíferos (Foro de la Industria Nuclear Española, 2013) tal y como muestra la figura 1. Si bien, se ha ido incrementando el uso de otros combustibles como el gas natural, en decremento del consumo de carbón. En la figura se observa también el significativo consumo de electricidad debido al avance del desarrollo tecnológico y el cambio a sistemas de calefacción eléctricos. Por último, se aprecia la aparición de las energías renovables, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años.

Figura 1: Evolución del sistema energético español



El análisis de la evolución del sistema energético español ha puesto de manifiesto que la mayoría de la energía consumida en España, y en el resto del mundo, proviene de recursos no renovables y limitados

De hecho, según las últimas previsiones (Statistical Review of World Energy, 2013) el petróleo descubierto actualmente se agotará dentro de 52 años aproximadamente, siempre que no haya nuevos descubrimientos y no varíe el consumo anual. Paralelamente, sin embargo, la producción de este recurso, lejos de disminuir, ha aumentado considerablemente desde el siglo pasado, lo que compromete todavía más la duración de las reservas. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de buscar fuentes de energía alternativas que puedan suplir la dependencia actual de recursos no renovables, finitos y cuyas reservas están comprometidas. Una de las alternativas es el uso de energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocombustibles . En la actualidad, este tipo de energía está siendo potenciado a nivel estatal, y de hecho el Plan

de Acción Nacional de Energías Renovables (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2010), fija como objetivo para el 2020 que el 20 % de la energía proceda de fuentes renovables. El presente trabajo se va a centrar en el diseño de un proceso de obtención de biocombustibles, por lo que se incidirá más en este aspecto.

El término biocombustible se emplea para designar a aquellos combustibles que se han obtenido por procesos físico-químicos a partir de material biológico renovable. Este tipo de material son normalmente vegetales como la soja, el maíz, el girasol o restos orgánicos.

Se puede considerar que son combustibles limpios ya que ellos mismos absorben durante el desarrollo vegetativo el CO_2 que generan al ser utilizados como combustible. La combustión de los biocombustibles genera cantidades de dióxido de carbono homólogas a las de los combustibles tradicionales, pero éstas se incluyen en el proceso cíclico cerrado de depuración atmosférica saldando el balance emisión/absorción de forma negativa, lo que indica su ventaja respecto de los combustibles tradicionales.

Por ello, es recomendable, la mezcla de ambos tipos de combustibles en cantidades proporcionales de entre el 5% y el 10%, con el fin de reducir las emisiones de CO_2 y así ayudar a la reducción de la contaminación atmosférica. Esta medida se ha establecido en países como Estados Unidos o los que conforman la Unión Europea. Esta última ha desarrollado un programa de sostenibilidad (Directiva 2009/28/CE) con objetivos para la introducción de biocarburantes en los combustibles convencionales (10% en el año 2.020). Este plan estima una reducción de un 35% de emisiones en el primer plazo y para el año 2.017 pronostica un reducción del 50% de las mismas (Ecoticias, 2009).

Esta afirmación, pone de manifiesto la importancia que han ido cobrando este tipo de biocombustibles dentro del campo de las energías renovables. Dentro de los biocombustibles se encuentra el biodiesel en el que se va a centrar este trabajo.

El biodiesel se define como “Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión”, según las especificaciones de la ASTM (*American Society for Testing and Material Standard*). Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano (Da Silva, y otros, 2010). Si bien, presenta un punto de inflamación superior. El biodiesel se obtiene por la reacción de transesterificación que se muestra en la figura 2.

Figura 2: Reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_3 \end{array} + CH_2OH \rightleftharpoons CH_3-O-CO-R_3 + \begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array} + CH_2OH \rightleftharpoons CH_3-O-CO-R_1 + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

$$\begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array} + CH_2OH \rightleftharpoons CH_3-O-CO-R_2 + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH_2-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel. El consumo es mayoritario en el caso de girasol, de la colza, y el empleo de aceite de fritura usado, pero hay otras materias primas vegetales que también pueden ser empleadas. En algunos casos, se está estudiando el uso de semillas modificadas genéticamente para dar una mayor cantidad de aceite y así obtener un mayor rendimiento, como por ejemplo las semillas de girasol alto oleico.

La capacidad de producción de biodiesel en España, proporcionada por el medio centenar de plantas instaladas a finales de 2012, era de 4,9 millones de toneladas anuales, sin embargo, en ese mismo año se registró una producción de 500.000 toneladas, un 10% de la capacidad de la industria (Energías Renovables, 2013). Este hecho está motivado por la reciente legislación española, ya que hasta el año 2013 no se ha realizado la asignación de cuota para las explotaciones, desaprovechando el potencial de las instalaciones, así como el desaparición del incentivo fiscal de la producción de este tipo de energía desde 2012.

Este tipo de combustibles tiene como principal ventaja emplear recursos renovables para su elaboración e, incluso, materias primas que durante su fase de crecimiento reducen las partículas contaminantes producidas en la combustión o incluso valorizar residuos oleosos cuyo vertido representa un gran impacto en el medioambiente receptor. Por el contrario, presentan un dilema ético-moral en los casos que utilizan aceites comestibles vegetales, ya que surge la disyuntiva de utilizar productos alimentarios para consumo humano o para la producción de combustible. La consecuencia es que el precio de las semillas se incrementa, al reducirse su oferta como consecuencia de destinar una parte de éstas a la producción de biodiesel. En los últimos años, el desarrollo de la tecnología ha dado lugar a otras especies con alto rendimiento energético pero no tienen carácter alimentario, tales como la *Jartropha*. (García Camús & García Laborda, 2006)

La tabla 1 muestra diferentes materias primas para la obtención de biodiesel.

El presente trabajo se centra en la obtención de biodiesel a partir de aceite de Moringa oleífera. La *Moringa oleifera* es una planta con múltiples aplicaciones, aunque la principal es la extracción de un coagulante de sus semillas para el tratamiento del agua. En el proceso de extracción del coagulante, se extrae también el aceite de la semilla utilizando etanol generándose un residuo. El aceite puro puede ser utilizado como lubricante en mecánica o como aditivo en cosmética (Sengupta y Gupta, 1970), pero también como aceite comestible vegetal. Su composición permite que sea apto para fabricación de biodiesel (Rashid et al., 2008) lo que representa una alternativa a estos usos, permitiendo además su valorización energética.

Tabla 1. Materias primas para producción de biodiesel

(Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), 2011)

Materia prima para fabricación biodiesel	Ejemplos
Aceites vegetales convencionales	Aceite de girasol, Aceite de colza, Aceite de soja, Aceite de coco, Aceite de palma
Aceites vegetales alternativos	Aceite de *Brassica Carinata*, Aceite de *Cynara Curdunculus*, Aceite de *Camelina Sativa*, Aceite de *Crambe Abyssinica*, Aceite de *Pogianus*, Aceite de *Jatropha Curcas*
Aceites de semillas modificadas genéticamente	
Aceites extraídos de otras fuentes	Aceites de producciones microbianas, Aceites de microalgas, Aceites de fritura usados

2. Objetivos

El trabajo se centra en el estudio de la producción de biodiesel a partir del residuo del proceso de preparación del coagulante de la semilla *Moringa oleifera*, utilizado tradicionalmente en el tratamiento del agua. Este residuo, compuesto por una mezcla etanol-aceite vegetal de *Moringa oleifera*, será transformado en biodiesel y propuesto como combustible renovable alternativo al uso de combustibles fósiles.

En concreto, el objetivo es diseñar el proceso de producción de biodiesel de Moringa capaz de generar biocombustible suficiente para suplir el 10 % del consumo total de carburante de vehículos en una capital española de tamaño pequeño, con el fin de cumplir las aspiraciones del programa de sostenibilidad energética de la Unión Europea, así como estudiar su viabilidad económica.

3. Diseño del proceso productivo

Como hipótesis de partida y base de cálculo para el diseño, se consideran las siguientes variables:

-Materia prima: Se utiliza la mezcla etanol-aceite procedente del proceso de obtención del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera*. La figura 3 muestra una imagen de la semilla de *Moringa oleifera* y de la mezcla etanol-aceite.

-Capacidad planta: Para el cálculo del volumen de biodiesel anual a producir, se tendrá en cuenta que se desea producir la cantidad de biodiesel que supla el 10 % del consumo de combustible fósil de una ciudad de tamaño pequeño-mediano.

Figura 3: Semilla de *Moringa oleifera* y mezcla etanol-aceite para la obtención de biodiesel

La capital española seleccionada para el estudio es Albacete con una población de 172.693 habitantes a 1 de enero del 2013. Suponiendo que una familia tiene de media 4 personas, que cada familia tiene un vehículo, el cual tiene un consumo de 6 L a los 100 km recorridos y que el recorrido medio de los vehículos de la capital es de 7.500 km al año, se consumen 19428,3m^3 anuales. Por tanto, la planta de producción a diseñar, debe producir al menos 1942,8 m^3 anuales de biodiesel, lo que supone una producción diaria de 6.52 m^3/día teniendo en cuenta las paradas de la planta se producirá 298 días/año.

3.1 Descripción del proceso productivo

El proceso puede comenzar con la semilla de *Moringa oleifera* o bien a partir del comienza residuo procedente de la extracción del aceite con etanol de la semilla de *Moringa oleifera*. Este residuo, contiene un 30 % (v/v) de aceite de semilla de Moringa y el resto etanol absoluto.

Si se utiliza la semilla, entonces el proceso consiste en la extracción del aceite de la semilla previo acondicionamiento de la misma. El proceso en ese caso se inicia con la dosificación de la semilla a una cinta transportadora sobre la cual se rocía con agua para eliminar cualquier tipo de impura o arena o tierra que pudiera haberse adherido a la superficie de la misma durante el transporte.

La semilla es introducida en un horno para eliminar la pequeña cantidad de agua que haya podido absorber. Seguidamente se conduce hacia una trituradora, donde se divide en partículas más pequeñas para mejorar la extracción del aceite. Seguidamente el resultado de la molienda es tamizado. Las partículas de semilla de Moringa oleífera con un calibre inferior a las 800µm son almacenadas para ser empleadas en las sucesivas etapas.

Para comenzar el proceso de extracción de aceite, las semillas son empapadas con etanol e introducidas en una prensa donde por, una aplicación gradual de presión, se libera el aceite y el disolvente antes adicionado.

Seguidamente este sólido inerte es sometido a un control de calidad para determinar la cantidad de aceite que posee, puesto que si la cantidad es considerable, el residuo sólido es sometido a una segunda extracción. En la segunda extracción, en el caso de realizarse, se emplea un extractor sólido-líquido semicontinuo y etanol como disolvente.

Así, posteriormente, la mezcla etanol-aceite de *Moringa oleífera* obtenido a través de las dos extracciones, es llevado al reactor de transesterificación al cual se le adiciona la cantidad restante de etanol para que se produzca la reacción, utilizando Hidróxido sódico como catalizador del proceso. Las condiciones operativas de reacción de la transesterificación son: 72 minutos de tiempo de reacción, 55 ºC de temperatura y presión atmosférica. (Kafuku & Mbarawa, 2010)

El rendimiento del proceso se estima en un 94.3 % (Rashid U. , Anwar, Ashraf, Saleem, & Yusup, 2011) referido a la cantidad de aceite que se introduce como materia prima en la reacción. Finalizada la reacción, el contenido del reactor es bombeado a una centrifugadora

donde se separa la fase pesada (glicerina) de la fase más ligara (biodiesel con el etanol en exceso). La corriente que contiene el biodiesel pasa a la etapa de lavado, en ella se le adiciona agua para que se produzca la transferencia del etanol sobrante del biodiesel al agua y así purificar el biocombustible. Ambas corrientes se separan posteriormente a través de un proceso de centrifugación, para obtener el biodiesel que es almacenado hasta que se distribuya.

A continuación, tiene lugar el refino del biodiesel a través de sucesivas etapas de separación de los subproductos generados en la reacción como son glicerina y etanol no reaccionado. Tras la finalización del proceso se tienen como residuos principales los de la transesterificación y los de la purificación del biodiesel. Adicionalmente, se tienen los residuos de lavado de los almacenes (los denominados como R_x), residuos debido a sustancias que no cumplen los estándares de calidad (representados como R_0) y las aguas de lavado de los distintos equipos donde se llevan a cabo todas las etapas del proceso (también denominados como R_x). Además se realiza un tratamiento integral de las corrientes eliminadas para poder revalorizar los subproductos.

En la Figura 4 se muestra un diagrama de bloques del proceso productivo diseñado.

3.2 Tratamiento de residuos

A continuación se describe con detalle los residuos que se someten a tratamiento dentro del proceso.

3.2.1 Residuo de la reacción de transesterificación (R3)

Este residuo tiene su origen en la reacción de transesterificación, en la cual se obtienen 2 corrientes. La corriente de mayor densidad que está constituida principalmente por los subproductos de la reacción, la otra contiene el biodiesel que posteriormente será lavado. El objetivo perseguido en el tratamiento de este residuo es la recuperación de la glicerina (ya que posee valor añadido para otros procesos). Para ello se recurre a una serie de procesos físico-químicos en los que se van eliminando sustancias de la mezcla de partida.

Se acidifica el residuo hasta un valor de 3 unidades de pH con ácido clorhídrico. Seguidamente se realiza un centrifugado para los ácidos grasos del resto de la mezcla. La corriente con la glicerina es filtrada para eliminar las impurezas, como pequeñas partículas de jabón o cloruro sódico.

A continuación se adiciona hidróxido de sodio hasta conseguir pH de valor 7, neutro, dando lugar a una reacción de neutralización donde se genera agua y cloruro sódico. La separación de estas especies de la corriente se realiza por centrifugación al existir una diferente densidad entre la glicerina y la disolución con base de agua. La figura 5 muestra el diagrama del tratamiento de este residuo.

.

Figura 4: Diagrama de bloques del proceso de obtención de biodiesel

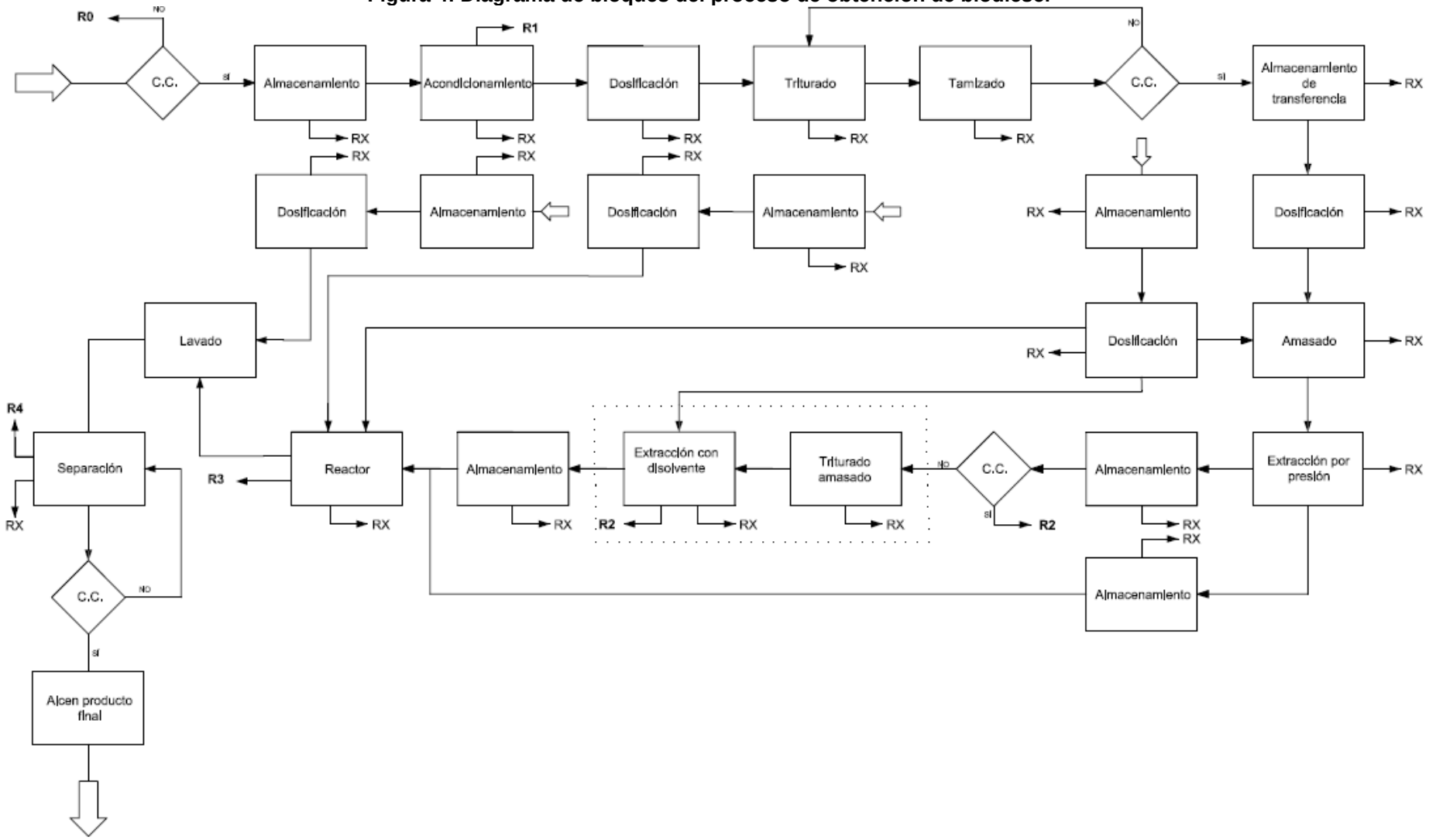
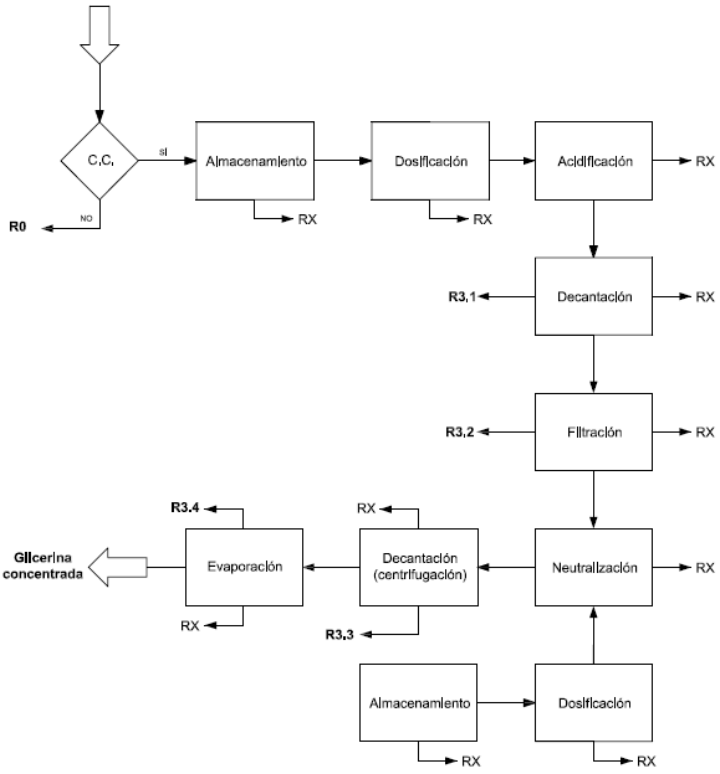


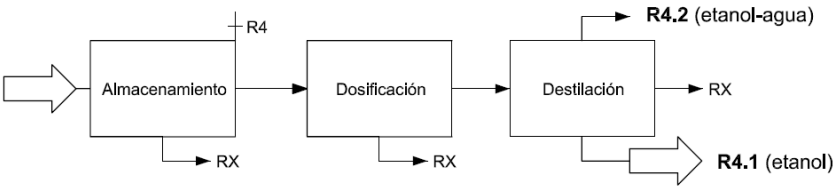
Figura 5: Diagrama de bloques del tratamiento residuo de la reacción de transesterificación



3.2.2 Residuo de la purificación del biodiesel (R4)

Este residuo se produce durante la operación de limpieza del biodiesel resultante. En este proceso se introduce agua al biodiesel con restos de etanol. Se produce una agitación para que el etanol pase al agua y así poder eliminarlo del biodiesel. Por ello se obtienes como el proceso la corriente de biodiesel purificado y otra constituida por agua con etanol, es el denominado R4. Para este residuo se realiza una destilación con el fin de recuperar el etanol, ya que este reactivo participa en exceso en la reacción de transesterificación. Por ello, tras separar ambas sustancias por una destilación simple, el agua y el etanol son almacenados para ser reutilizados en la industria. La figura 6 muestra el diagrama de bloques de tratamiento del residuo.

Figura 6: Diagrama de bloque tratamiento del residuo de la purificación del biodiesel



Este tratamiento permite reducir el consumo de etanol en la planta en un 45,03%.

4. Estudio de viabilidad del proceso

En primer lugar se estima el coste de la instalación anteriormente diseñada. Para ello se compone el presupuesto a partir de cuatro secciones del proceso productivo como son:

- Almacenamiento. En este capítulo son presupuestados los depósitos, los sistemas de retención, circulación y seguridad y las conducciones necesarias. En general, todo lo relacionado con el almacenaje y el transporte de todos las sustancias (materias primas, subproductos, intermedios del proceso productivos, etc.) en la industria hasta los sistemas de dosificación.
- Dosificación. Los elementos que se incluyen en este capítulo son aquellos equipos y conducciones que comunican el almacenamiento con las diferentes fases del proceso productivo y tratamiento de residuos. El listado de equipamiento es homologo al del sistema de almacenaje.
- Producción de biodiesel. Comprende las etapas necesarias para la obtención del producto final. En este capítulo se engloban reactores y sistemas de purificación del biodiesel. Además de todas las conducciones necesarias para la conexión de los equipos.
- Tratamiento de residuos. Los equipos y conducciones necesarias para los procesos de purificación y revalorización, para los subproductos con valor, y eliminación, en el caso de los residuos del proceso, se hayan recogidos en este capítulo del presupuesto.

Estos capítulos se dividen en unidades de obra que comprenden todos los materiales y recursos humanos necesarios para poder ser ejecutados. El computo de los costes de los capítulos anteriormente descritos (Tabla 2) elevan el presupuesto de ejecución material a 729.395,97€.

Tabla 2: Desglose del presupuesto de ejecución material

Capítulo del presupuesto	Coste
Almacenamiento	384.509,20 €
Dosificación	109.197,75 €
Producción de biodiesel	235.560,37 €
Tratamiento de residuos	128.652,62€

A continuación se obtiene el presupuesto de inversión en el cual se tienen en cuenta diferentes incrementos como los gastos generales, el beneficio industrial, los salarios de dirección e impuestos a partir del presupuesto de ejecución material, coste de la mano de obra, materiales y maquinaria necesaria para realizar el proyecto. El presupuesto de inversión asciende a 1.201.211,88 € como se detalla en la siguiente tabla (Tabla 3). En el precio de ejecución material se incluyen la totalidad de materiales y horas de trabajo, tanto de operación como de maquinaria, así como todo lo relacionado para la realización física del proyecto. El presupuesto de ejecución por contrato, tiene añadido al precio anterior los gastos generales, cargas fiscales y el beneficio industrial. Al añadir al precio anterior el coste del proyecto y la dirección de obra se obtiene el presupuesto de obra. Finalmente, para obtener el presupuesto de inversión se suma el importe del IVA.

Tabla 3: Desglose del presupuesto de inversión del proyecto

Tipo de presupuesto	Coste
Presupuesto de ejecución material	729.395,97 €
Presupuesto de ejecución por contrato	927.791,67 €

Presupuesto de obras	992.737,09 €
Presupuesto de inversión	1.201.211,88 €

El precio del producto final se compone del coste de las materias primas, el consumo energético de la industria, diversos costes del normal funcionamiento de la industria y el beneficio. El precio del litro de biodiesel ha de estar próximo al precio de mercado (0.857€/L) (The European Renewable Ethanol Association (ePURE), 2013). Con este precio y el presupuesto de inversión se puede determinar la viabilidad del proyecto y el periodo de amortización de la inversión.

En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestran las materias primas que se requieren para la consecución de la producción diaria. También se recoge en la tabla el coste de cada una de ellas y el coste que supone de forma diaria.

Tabla 4: Consumo y coste de las materias primas del proceso

Materia prima	Consumo diario	Coste unitario	Coste diario
Etanol	3.789,3 kg/día	0,50 €/kg	1894.65 €
Hidróxido de sodio	56,18 kg/día	17,90 €/kg	1.005,62 €
Agua	3240 L/día	0,15 €/L	486 €

Se calcula el coste de las materias primas por litro de biodiesel producido como el cociente de la suma de los costes de las materias primas y la producción diaria.

$$C_{MP\ biodiesel} = \frac{C_{etanol} + C_{NaOH} + C_{agua}}{Produccción} \quad (1)$$

$$C_{MP\ biodiesel} = \frac{1894{,}65\,\frac{€}{día} + 1005{,}62\,\frac{€}{día} + 486\,\frac{€}{día}}{6{,}52\,\frac{m^3}{día}} \quad (2)$$

$$C_{MP\ biodiesel} = \frac{26500{,}62\,\frac{€}{día}}{6{,}52\,\frac{m^3}{día}} = 0{,}52\,\frac{€}{L} \quad (3)$$

Se observa que el coste de las materias primas representa la mitad del coste del precio del producto recomendado en el mercado. Este importe se incrementa con el coste de operación y la recuperación de la inversión, así como los gastos indirectos de consumo de energía, salarios de los operarios y demás conceptos relacionados por un valor del 50% del coste de la materia prima, por lo que se obtiene un beneficio de 0,42 €/L. Este resultado (teniendo en cuenta que la producción es de 1942.8 m^3 anuales) hace el proyecto viable para la producción de este tipo de biodiesel a gran escala ya que en un año se obtendría un beneficio de 815.976 €, haciendo factible la inversión para la puesta en marcha de la planta de biodiesel y su recuperación antes de los 2 primeros años.

5. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

- El uso de biocombustibles es una de las principales alternativas al uso de los combustibles fósiles que debe ser potenciada debido tanto a su bajo impacto medioambiental por sus menores emisiones a la atmósfera como a la reducción del consumo de combustibles fósiles que permite, aprovechando la infraestructura de éstos.
- La producción de biodiesel puede realizarse a partir de aceites vegetales obtenidos para tal fin o a partir de aceites que representen un residuo de otros procesos, con lo que se valorizan estos últimos.
- El estudio realizado pone de manifiesto que es posible valorizar el residuo (disolvente-aceite) resultante del proceso de obtención del coagulante extraído de la semilla de *Moringa oleifera*, como materia prima para la fabricación de biodiesel.
- El proceso de obtención de biodiesel incluye la transformación de la materia prima mediante la reacción de transesterificación así como el tratamiento de los residuos. El residuo de la purificación del biodiesel permite recuperar el 45 % del disolvente para su reutilización de nuevo en el proceso productivo.
- El precio del producto obtenido en este proyecto a partir del residuo de *Moringa oleifera* es de 0.78 €/L, lo que lo convierte en competitivo al compararlo con los precios actuales de biocombustibles en España.

- Sería necesario realizar un estudio de viabilidad técnica y económica más detallado con el fin de determinar entre otros, si existe la capacidad de generar el volumen de residuo suficiente para suplir las demandas de materia prima que tendría la planta de producción de biodiesel

Bibliografía

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). (2011). *Inventario de plantas de biomasa, biogas y pellets de APPA.* Obtenido de http://www.appa.es

Da Silva, J. P., Serra, T. M., Gossmann, M., Wolf, C. R., Meneghetti, M. R., & Meneghetti, S. M. (Oct de 2010). *Moringa oleifera* oil: Studies of characterization and biodiesel production. *Biomass and Bioenergy, 34*(10), 1527-1531.

Foro de la Industria Nuclear Española. *Energía 2013.*Obtenido de http://www.foronuclear.org/es/energia/2013

García Camús, J. M., & García Laborda, J. Á. (2006). *Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol.* Madrid.

Kafuku, G., Lam, M., Lee, K., & Mbarawa, M. (2010). Heterogeneous catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil. *Fuel Processing Technology, 91*, 1525–1529.

Kafuku, G., & Mbarawa, M. (2010). Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil with optimized production parameters. *Applied Energy, 87*, 2561-2565.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010). *Plan de Energía Nacional.*

Rashid U., Anwar F., Moser B.R., Knothe G. (2008). *Moringa oleifera oil: a possible source of biodiesel, Bioresource Technology,* 99, 8175-8179.

Rashid, U., Anwar, F., Ashraf, M., Saleem, M., & Yusup, S. (2011). Application of response surface methodology for optimizing transesterification of *Moringa oleifera* oil: Biodiesel production. *Energy Conversion and Management, 52*, 8-9.

Statistical Review of World Energy. (2013) British Petroleum. Obtenido de http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf

Sengupta A., Gupta M.P. (1970). *Studies on seed fat composition of Moringaceae family*, *Fette, Seifen, Anstrichm. 72* 6-10.

The European Renewable Ethanol Association (ePURE). (Julio de 2013). Obtenido de http://www.epure.org

Unión Europea. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas

2001/77/CE y 2003/30/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 5 de junio de 2009, núm. 140, pp. 16-62.

Ecoticias. (2009).Obtenido de http:// http://www.ecoticias.com/

Energías Renovables. (Julio de 2013). Obtenido de http://energiasrenovablesi.wikispaces.com/