

PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA DE ETANOL CARBURANTE DE IPOMOEA BATATA (CAMOTE) Y SU IMPACTO EN LA CONTABILIDAD DE RESERVA ENERGÉTICA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL PERÚ

Fernando Anaya M., Leonel A. Gómez H., Marco Guerrero A., José Porlles L., Juan Woolcott H. y Raymundo Erazo E.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es el diseño de un proceso más limpio para la producción de etanol carburante de camote. Aplicando los principios de diseño conceptual y el análisis Pinch y el uso de simuladores chem cad y pinch cad, se determina que el proceso con tamices moleculares es el más eficaz, obteniéndose etanol de 99,5% de pureza, con una demanda de energía de 1400 Kj/Kg de etanol. Se concluye que estos resultados impactan positivamente en la economía del Perú, por constituirse en una vía de desarrollo sostenible técnico, económico, social y ambiental.

Palabras clave: Etanol carburante, desarrollo sostenible, reserva energética.

ABSTRACT

The goal of this research work is the design of a cleaner process for the production of fuel ethanol sweet potato. Applying the principles of conceptual design, Pinch analysis and the use of simulators chem cad and pinch cad, it is determined that the process with molecular sieves is the most effective to get ethanol from 99.5% purity with a power demand of 1 400 Kj / kg of ethanol. We conclude that these results impacting positively on the economy of Peru by establishing a path of sustainable development both technically, economically, socially and environmentally.

Keywords: Ethanol fuel, sustainable development, energetic reserve.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad desarrollar un proceso más limpio para la producción de etanol carburante de camote con una concentración mínima de 99,5%.

Para este propósito, se aplicará el diseño conceptual y el análisis Pinch en el diseño de una tecnología ambientalmente racional para la producción de etanol carburante.

En la Facultad de Química e Ingeniería Química de la UNMSM, este proyecto es parte de la línea de investigación en Tecnología

e Ingeniería de Procesos Sostenibles y se relaciona con el desarrollo y aplicación de tecnologías ambientalmente racional.

Se utilizan los simuladores especializados como Chem Cad y Pinch Cad, a través de los cuales se desarrolla un proceso más limpio, de costo mínimo, beneficio económico máximo e impactos ambientales mínimos.

El proyecto se justifica por cuanto los resultados tendrán un impacto positivo en la economía del Perú, es decir, se presenta una alternativa de desarrollo agroindustrial sostenible.

II. MARCO TEÓRICO

Cambios en la matriz energética del Perú (Ministerio de Energía y Minas)

En la Figura N.º 1, se puede apreciar cuál es el estado de la matriz energética del Perú al año 2007, observándose, a través de ella, una importante dependencia del petróleo.

En tal sentido, actualmente, se viene desarrollando un programa referente a la matriz energética del Perú, cuyo contenido se resume como sigue:

Cambio de la matriz energética

- Gas natural
- Gas licuado de petróleo
- Política tributaria
- Biocombustibles.

Mejora en la calidad de combustibles líquidos

- Diesel
- Gasolinas
- Reducción de la informalidad y contrabando
- Marcadores y Trazadores
- Mejoras en los Reglamentos.

Optimización del Sector

- Reducción del número de gasolinas
- Mejora de los Reglamentos buscando más eficiencia, transparencia y leal competencia
- Mejorar las relaciones con las comunidades y pueblos indígenas, promoviendo

el diálogo, a fin de difundir: Las leyes y normas que las protegen y protegen el medio ambiente; las obligaciones de las empresas petroleras respecto a las comunidades y al ambiente; las ventajas del desarrollo sostenible y reforzar la política de respeto y cuidado del ambiente.

Las normas ambientales son cada vez más estrictas y están orientadas a promover el uso de combustibles menos contaminantes; por lo tanto, la calidad de los combustibles tiene que ser mejorada para minimizar los impactos ambientales negativos.

Las principales exigencias están referidas a:

- La eliminación del contenido de plomo en las gasolinas
- La reducción del contenido de azufre en el diesel
- La disminución de la presión de vapor de las gasolinas
- Disminución del contenido de hidrocarburos aromáticos.

Propuestas para el cambio de la matriz energética (Comisión creada por D. S. N.º 064-2005-PCM)

En la Figura N.º 2 se muestra las propuestas de cambios de la matriz energética del Perú. En ella se observa la situación futura en el uso compartido de las fuentes energéticas de hasta un 34% correspondiente a las fuentes energéticas renovables, dentro del cual se incluye en una forma racional a los biocombustibles.

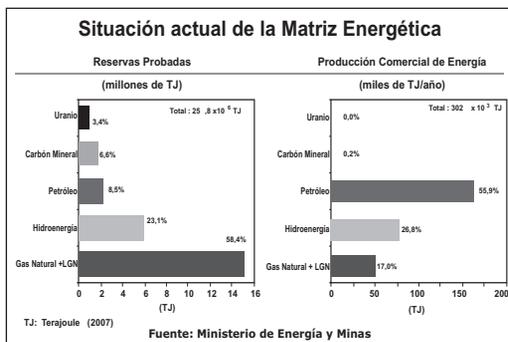


Figura N.º 1. Situación actual de la matriz energética del Perú.

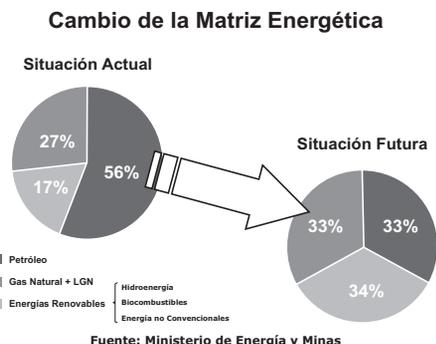


Figura N.º 2. Propuesta de cambio de la matriz energética del Perú.

Dentro de este contexto, el Ministerio de Energía y Minas ha tomado las siguientes acciones:

- Masificación del uso del gas a nivel domiciliario e industrial
- Promoción del Gas Natural Vehicular (GNV)
- Promoción de los ductos regionales
- Desarrollo de fuentes alternativas como los Biocombustibles (etanol y biodiesel).

En lo referente a los biocombustibles, las propuestas de cambio se desarrollan dentro del ámbito de las siguientes normas ambientales:

- Ley N.º 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles
- D.S. N.º 013-2005-EM, Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles
- D.S. N.º 021-2007-EM, Reglamento de Comercialización de Biocombustibles.

Para el efecto de la aplicación y control, se han establecido responsabilidades en los organismos competentes siguientes:

MINAG. Promueve el desarrollo de las áreas disponibles con aptitud agrícola para la producción de Biocombustibles

PRODUCE. Autorización para la instalación y funcionamiento de las plantas productoras de Biocombustibles

MEM. Autorización para la comercialización de Biocombustibles y sus mezclas con gasolinas y el Diesel 2

OSINERGMIN. Supervisión y Fiscalización.

Obligatoriedad en los porcentajes de mezcla

Alcohol Carburante (Etanol Anhidro desnaturalizado) en las gasolinas: 7,8%, a partir del 2010 el Gasohol será de uso obligatorio en todo el país.

Biodiesel en el Diesel: 2% a partir del año 2009, 5% a partir del año 2011, en reemplazo del B2 en el diesel.

Ante tal situación y los precios del petróleo, se requiere de una estrategia nacional no solo para el uso de los hidrocarburos, sino también para el resto de los recursos energéticos (hídricos, geotermales, biocombustibles, etc.).

En el caso de los recursos hídricos, su potencial se estima en 60,000 MW, y del cual solo se usa el 5%; por lo tanto, la propuesta es que las plantas eléctricas a base de gas natural trabajen de reserva.

Tecnología para producción de etanol carburante

La materia prima para la producción de etanol carburante es el camote (Ipomoea batata) cuyo rendimiento promedio por hectárea en el Perú es de 17 TM/Ha, pero un agricultor en Virú, Trujillo, aplicando tecnología moderna obtiene más de 80 TM/Ha. La empresa Sweet Perú, en Lambayeque, obtiene entre 54 y 60 TM/Ha en un período vegetativo de 4 meses. Como el clima en esta región es homogéneo durante el año, es posible obtener 3 cosechas anuales o el equivalente a 180 TM por Ha.

La variedad de más alto rendimiento en almidón es el camote Huambachero INIA 306 que produce hasta 35 TM/Ha, actualmente la superficie cultivada es de 3 500 Has. En la Figura N.º 3, se presenta la producción nacional de camote incluyendo todas las variedades.

PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAMOTE 2007
SEGÚN REGIONES (T)

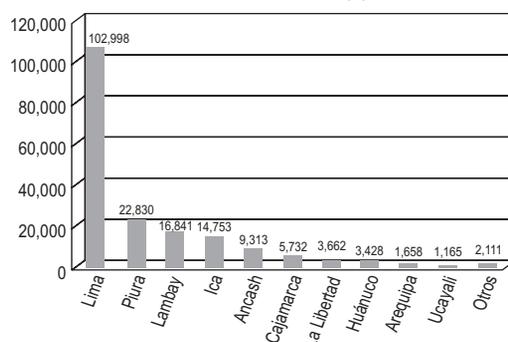


Figura N.º 3. Producción nacional de camote durante el año 2007, incluye todas las variedades (Fuente: PRODUCE).

Diseño Integrado de procesos de producción de etanol carburante

De las operaciones de separación de dominio de la Ingeniería Química, la destilación es la apropiada. Para el caso particular de destilación de una mezcla de etanol - agua, mezcla de baja volatilidad relativa y azeotrópica, se tienen las siguientes opciones:

1) Destilación a dos niveles de presión

Para lo cual es recomendable que la composición del azeótropo, a los dos niveles de presión, debe diferir por lo menos un 5% como se muestra en la Figura N.º 4^[4].

2) Destilación azeotrópica

Se adiciona un agente másico de separación que forma un azeótropo con uno de los componentes, o uno ternario inmiscible tal como se muestra en la Figura N.º 5^[4].

Por esta simulación se produce etanol anhidro puro a partir de una mezcla azeotrópica de etanol-agua, utilizando al benceno como agente de arrastre. Una

característica importante de este proceso es que la economía y el impacto ambiental imponen operar con una recuperación de benceno extremadamente alta.

3) Destilación extractiva

Se adiciona un agente másico de separación que se asocia a uno de los componentes, deprimiendo su volatilidad y arrastrándolo por colas tal como se observa en la figura N.º 6^[4].

Aquí la variable de operación a optimizar es el flujo de agente extractivo. Sin embargo, los inconvenientes son: requiere de reposición de agente extractivo, introducción de un agente extraño, lo cual incorpora impurezas, impacto medioambiental, etc.

4) Efecto salino

Se adiciona carbonato de potasio que obliga a una operación de alto reciclo para carbonato, tal como se observa en la Figura N.º 7^[2].

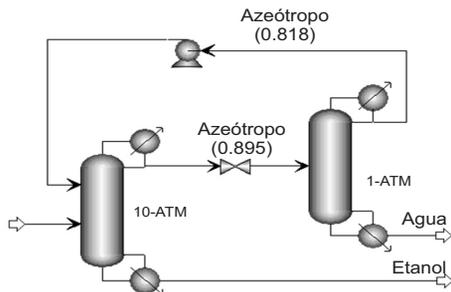


Figura N.º 4. Destilación de mezclas de baja volatilidad relativa y azeotrópica: operación a dos niveles de presión.

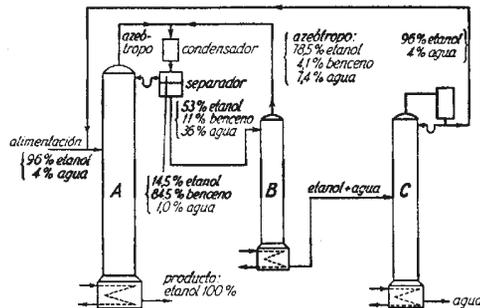


Figura N.º 5. Destilación de mezclas de baja volatilidad relativa y azeotrópica: destilación azeotrópica.

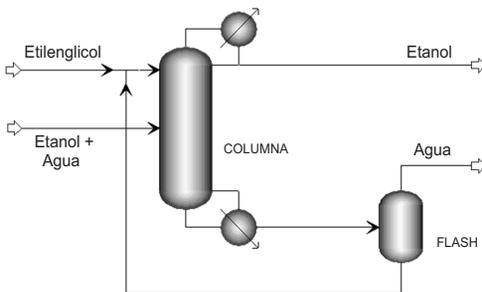


Figura N.º 6. Destilación de mezclas de baja volatilidad relativa y azeotrópica: destilación extractiva.

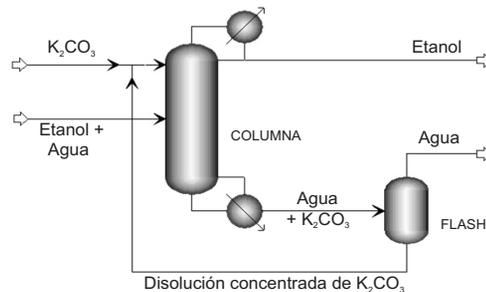


Figura N.º 7. Destilación de mezclas de baja volatilidad relativa y azeotrópica: efecto salino.

Tabla N.º 1: Resultados generales del diseño de proceso más limpio para la producción de etanol carburante

Rendimiento de etanol	125 L/TM de camote
Consumo de vapor	3.5 - 5 Kg/L etanol
Eficiencia de destilación	>99.5 % de etanol
Efluente: vinaza	11 - 13 L vinaza/L etanol
Agua de enfriamiento	100 - 120 L agua/L etanol

5) Deshidratación de Etanol con Tamices Moleculares

Los diseños comerciales tienen, cuando menos, dos contenedores de material desecante para permitir alternar la operación entre ciclos de adsorción y regeneración; a esto se le conoce como presión alternante. El agua es removida (adsorbida) haciendo pasar una corriente vaporizada de alcohol a través de los tamices a alta presión. Luego, cuando el material desecante del primer contenedor se satura hasta cierto punto, la corriente vaporizada pasa por el otro contenedor. Mientras tanto, se aplica vacío al primer contenedor para regenerar los tamices y prepararlos para un nuevo ciclo de adsorción. La mayoría de tamices moleculares para deshidratación de etanol son zeolitas sintéticas con poros de tamaño preciso, usualmente 3 angstroms, que tienen elevada afinidad por moléculas de agua y baja afinidad por las de etanol. Esto hace que las moléculas de agua (2.8 Å) sean adsorbidas, no así las de etanol (4.4 Å).

Durante la remoción de agua, se liberan 1,800 BTU de calor por cada libra de agua adsorbida (calor de adsorción), lo cual calienta los tamices. Esta misma energía debe suministrarse para regenerar los tamices (calor de desorción) enfriándolos. Estos tamices de 3 Å pueden adsorber agua hasta un 22% de su peso 2.

Tabla N.º 2: Resultados de simulación de consumo de energía para producción de etanol anhidro por varios métodos

Proceso	Kj/Kg de etanol
Destilación extractiva con acetato de potasio	9200
Destilación azeotrópica con ciclohexano	4845
Destilación extractiva con etilenglicol	1750
Destilación con tamices moleculares	1400

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del diseño de proceso más limpio se muestran en la Tabla N.º 1.

En la Tabla N.º 2 se resume los resultados de la simulación de consumo de energía del proceso utilizando los simuladores de chem cad y pinch cad.

En la Figura N.º 8 se muestra el diseño parcial del sistema de destilación de la planta el cual se integra según el diagrama mostrado en la Figura N.º 9.

El diagrama del proceso se muestra en la Figura N.º 9, que consiste del diagrama para la producción de etanol de camote. La base de cálculo está soportada en un análisis a través de un indicador económico interno que evalúa la utilidad en cada nivel del diseño conceptual. La integración de proceso se realiza por aplicación del análisis Pinch, tanto para la integración térmica como másica.

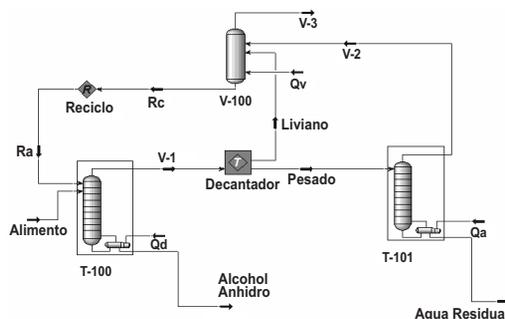


Figura N.º 8. Planta de deshidratación de etanol obtenido por simulación usando chem cad y pinch cad.

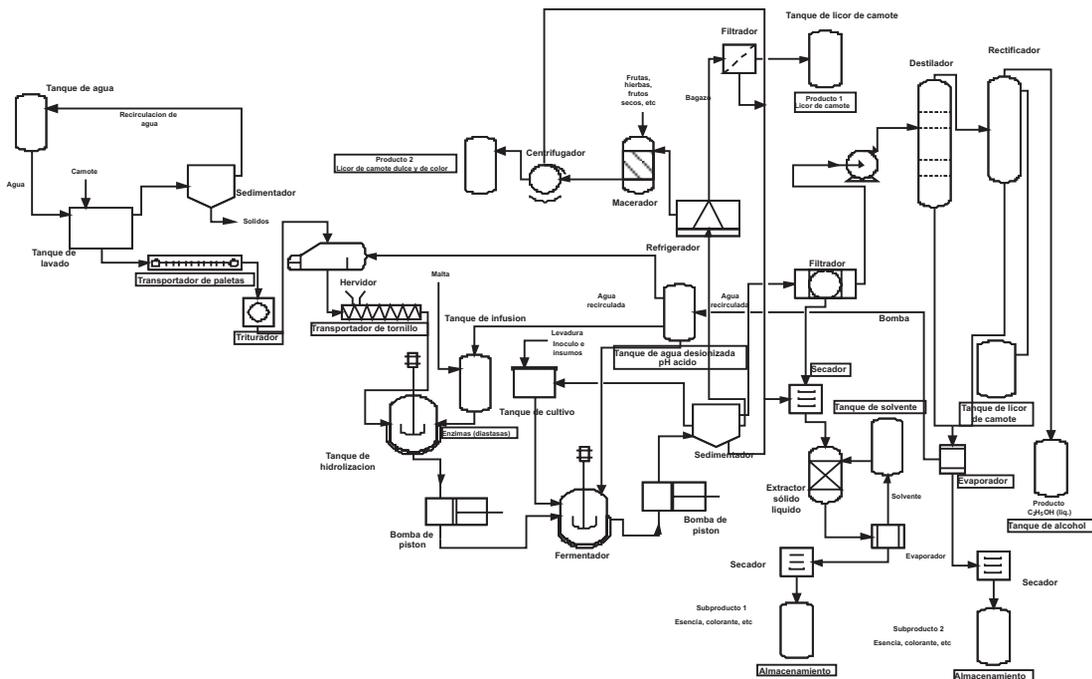


Figura N° 9. Diagrama de proceso integrado para la producción de etanol de camote.

Los resultados mostrados conducen a considerar que los mismos guardan acuerdo con los resultados de otros trabajos^{7,8,13}. En general, se considera que los resultados permiten un análisis en la reducción de los impactos negativos al medio ambiente, es decir, las vinazas y tortas de los filtros se reciclan en el proceso y fuera de él tanto para destinarlo como parte de carga en un proceso de producción de alimentos forrajeros o para mejorar los suelos deficitarios en componentes orgánicos y sales de potasio. Así también, el consumo de agua para la fermentación y la destilación están en valores altos, la meta es reducir a valores de 1 a 3 L de agua/L etanol, el cual puede lograrse aplicando el análisis Pinch másico para reducción de agua.

El análisis del diseño integrado de la Figura N.º 9 muestra las alternativas de aprovechamiento de los subproductos, tanto el colorante contenido en la materia prima, los filtrados distintos, los efluentes, entre otros. Resulta destacable las predicciones de la simulación mostrados en la Tabla N.º 2, donde se comparan las demandas energéticas, un componente muy influyente en el costo total del proceso, resulta que el uso de tamices

moleculares reduce significativamente los costos de energía, por lo que se presenta como una gran alternativa para la futura planta de etanol carburante con una concentración no menor de 99,5% de pureza.

Este contexto abre grandes posibilidades para la implementación de estas plantas en el Perú, por cuanto se cuenta con disponibilidad de zeolitas y bentonitas naturales que pueden ser mejoradas y adaptadas para su uso en este proceso.

IV. CONCLUSIONES

El proceso de etanol carburante con tamices moleculares es más eficaz comparado a otros métodos y permite obtener una pureza mayor de 99,5% de etanol.

El proceso de etanol carburante de camote es una alternativa importante para el Perú por cuanto se disponen de áreas de cultivo apropiados en la costa norte del País y cuya implementación del presente paquete tecnológico redundará en una vía de desarrollo sostenible para los agricultores y el estado peruano.

Se considera un aprovechamiento integral de la materia prima, recuperando los pigmentos naturales obtenidos previo a la fermentación y destilación, reduciendo significativamente los impactos ambientales negativos y constituyéndose en una vía eficaz concordante con los principios de desempeño de producción más limpia.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Superior de Investigación de la UNMSM por el financiamiento de este proyecto de investigación desarrollado en la FQIQ durante el año 2008.

VI. REFERENCIAS

- [1] Allen DT and KS Rosselot. (2005). Pollution Prevention for Chemical, Processes. John Wiley & Sons. INC. N. Y.
- [2] Baasel WD (2000). Preliminary Chemical Engineering Plant Design Ed. Van Nostrand Reinhold VNR N.Y.
- [3] Deshotels RD and Zimmerman R (2000). Cost Effective Risk Assessment for Process Design Ed. Mc Graw-Hill Inc. N.Y.
- [4] Douglas, J. M. (1988). Conceptual Design of Chemical Processes. Ed. McGraw-Hill, N. Y. 601 pp.
- [5] Erazo R y otros. Rev Per Quím e Ing Quím. Vol. 9 N.º 2, 29 (2006).
- [6] Linnhoff B et al. (1994). User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. Gulf Publishing Co. Houston.
- [7] López AB y otros (2002). Rev Ing Quím Española. p 145; julio/agosto.
- [8] Minnich T. M. (2000). Chem Eng Aug. p 70.
- [9] Nishida N. et al. (1981), AIChE Journal 27(3), p 321.
- [10] Peters MS and KD Timmerhaus (2000). Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition. Ed. McGraw-Hill Inc. N.Y.
- [11] Smith R (2005). Chemical Process Design. Ed. McGraw-Hill Inc. N.Y.
- [12] Woods DR (1995). Process Design and Engineering Practice. Ed. PTR Prentice Hall N.J.
- [13] Zunin GM y otros (2000). Appl. Biochem & Biotechnol; 84-86, p. 1 147.