

ESTRATEGIA PARA LA GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TECNOLOGÍAS MÁS LIMPIAS EN UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ETANOL.

Ing. Pablo Angel Galindo Llanes*, MSc. Milagros Ugarte Marchena*, Dra. Hilda Oquendo Ferrer*, Dr.Sc. Erenio González Suárez. **

*Universidad de Camagüey. Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química. Camagüey, Cuba.

**Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central Martha Abreu, Villa Clara, Cuba.

Resumen

El presente trabajo ha sido realizado con vistas a obtener tecnologías limpias en los procesos de producción de etanol a partir de la integración de las herramientas de Gestión Ambiental y de Calidad Total al Análisis Complejo de Procesos, para elevar el nivel de aplicación de soluciones de carácter proactivo, logrando impactos globales positivos. La estrategia aplicada integra elementos de Gestión Ambiental, Análisis de Procesos y Gestión de Calidad permitiendo el mejoramiento del desempeño técnico económico y ambiental de la industria basándose en las normas de Gestión de Calidad Total y Gestión Ambiental, ISO 9000 y 14000 respectivamente. Se identificaron los principales problemas que resultan en el desempeño técnico, económico y ambiental inadecuado de la industria, a partir de la evaluación de indicadores técnicos – económicos y ambientales del proceso de producción. Se evaluaron alternativas para la solución de los mismos. Se identificaron como problemas principales la contaminación del medio por el CO₂ y la vinaza así como la baja eficiencia y el sobreconsumo de agua en el área de fermentación. Para su aplicación se propuso el orden siguiente de alternativas: recuperación de CO₂, sistema de enfriamiento de batición en la fermentación y sistema de automatización en Mezclado, generado a partir de la evaluación integrada de factores técnicos, económicos y ambientales.

Palabras Claves: Gestión Ambiental, Gestión de la Calidad, Análisis Complejo de Procesos Tecnologías limpias, Etanol

Abstract

This work has been carried out in order to obtain clean technologies in the productive process of ethanol starting on the merging of the environmental management tools and total quality one to the analysis process, propitiating favourable scenery to increase the application level of solutions of proactive character, achieving positive global impacts. The applied strategy was based on ISO 9000 Quality management and 14000 environmental management rules. The main problems of the process were identified which generate an inadequate technical, economical and environmental development of industry through the evaluation of technical, economical and environmental indicators of the productive process. Also were evaluated different alternatives to solve those problems. The main problems identified were: contamination by CO₂ and wastewaters of distillation process, also the low efficiency and the over consumption of water in fermentation stage. The following order of alternatives was suggested for its application: recover of CO₂, cooling system for water in fermentation and the automatic control of the mixer, which were generated through the evaluation on integrated form of technical, economical and environmental aspects.

Key Words: Environmental Management, Quality Management, Complex Analysis of process, clean technologies, Ethanol.

INTRODUCCION

El principio organizativo de la Producción Más Limpia (P+L), es la eficiencia. La definición más habitual de P+L presente en programas por todo el mundo es la del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2001), donde se pide **"la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada en los procesos, productos y servicios que aumente la ecoeficiencia y reduzca los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente"**.

En la actualidad, por medio de disímiles técnicas, se ha llegado a comprobar que varios de los daños causados durante el desarrollo de la humanidad son prácticamente irreversibles. La industria de los derivados de la caña de azúcar no escapa de esta realidad. Dentro de los derivados, es la producción de alcoholes a partir de la miel final, obtenida como subproducto de la industria azucarera, la que mayor demanda ha tenido en nuestro país, convirtiéndose hoy en uno de los principales renglones en los procesos de diversificación azucarera.

En la producción de alcoholes se generan una serie de residuos perjudiciales al medio ambiente y es de vital importancia tratarlos adecuadamente para evitar la contaminación y hacer un uso racional de los recursos naturales.

Atendiendo a la visión actual sobre el tratamiento a los problemas ambientales hacia un enfoque proactivo de los mismos, se sugiere la aplicación de tecnologías más limpias en este sector.

DESARROLLO

Se recopilaron y procesaron estadísticamente los datos de la producción de alcohol de una destilería referidos a dos etapas del proceso Fermentación y Destilación

En la etapa de fermentación se controló el consumo de miel, brix de la miel, porcentaje de alcohol del día y la batición destilada y en la etapa de destilación la producción de alcohol y 7 las características de la vinaza.

Los análisis realizados para las variables medidas muestran un comportamiento probabilístico Normal.

En el caso de las variables tecnológicas del proceso brix de la miel y porcentaje alcohólico de la batición, los coeficientes de variación son menores que un 25 % lo que resulta favorable al incrementarse su representatividad estadística.

La caracterización de las vinazas, a partir de la medición de los grados brix, el pH y la temperatura

dio como resultado en el caso de la primer variable que la media fue de 5.9 lo cual indica que no todo el azúcar fue consumido en el proceso de fermentación, en el caso del pH y la temperatura, cuyos valores medios fueron de 4.2 unidades y 93.7 °C, no cumplen con las normas de vertimiento establecidas por la NC 27-99 por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Atendiendo a las cartas de control realizadas para la evaluación del desarrollo del proceso, puede decirse que en todos los casos las variables se encuentran fuera de control estadístico, por lo que puede aseverarse que al no estar controlado el mismo, el desempeño técnico - económico y ambiental de la industria puede considerarse bajo, este aspecto deberá ser demostrado en el proceso de evaluación del desempeño técnico económico y ambiental de la industria.

Al ser analizadas cada una de las variables controladas en las dos etapas mencionadas, se definieron los siguientes indicadores para evaluar el desempeño técnico-económico y ambiental.

Los indicadores técnico-económicos definidos fueron:

En el área de Fermentación:

1. Índice de Miel Física (IMF) normalizado.

$$IMF_n = IMF \cdot \frac{[Brix][\% AR]}{[Brix_n][\% AR_n]}$$

Donde

$[Brix_n]$ - Valor normalizado según ICIDCA = 85 °Bx

$[\% AR_n]$ - Valor normalizado según ICIDCA = 52 % Azúcares Reductores Totales

Este indicador permite determinar si existe un sobreconsumo de miel en el proceso, evitando pérdidas económicas, el cual tiene un valor normalizado de 425 kg de miel base 52 % ART y 85 °Bx / hL de producción.

2. Eficiencia de Fermentación (EF)

$$EF = \frac{Alcohol\ ponderal \times 0.01 \times 1.553}{kg\ de\ azucares\ fermentables} \times 100, \\ [\%]$$

Según las normas de la entidad debe tener como margen un 80%.

3. m³ de agua/ t de miel

Debe oscilar entre 3.5 y 4 partes de agua por una parte de miel en peso

En el área de Destilación:

4. Eficiencia de Destilación (ED)

$$ED = \frac{\text{Alcohol a } 100}{\text{Alcohol ponderal}} \times 100 \quad [\%]$$

Según las normas de la entidad debe tener como margen un 94%.

Los Indicadores ambientales seleccionados fueron:

5. Toneladas de CO₂ / m³ de producción.

6. m³ de vinaza / hL de alcohol producido.

Comparación de los valores obtenidos con las Normas Técnicas, Económicas y Ambientales

Porcentaje (%) de alcohol de día

Según las normas el % de alcohol del día debe variar entre 6-7 %, al analizar los resultados se observó que no se cumple con esta norma. Los valores promedios se encuentran en el rango de 5,11 - 4,96. Puede afirmarse entonces que existen afectaciones en el proceso productivo.

Propiedades de la miel

En caso del Brix de la miel, de acuerdo a las cartas de control se obtuvieron valores por encima del límite superior del rango normado (81-86 °Brix). Estos valores influyen en el valor final del contenido de azúcares fermentables presentes en la miel.

La data de valores procesada muestra que el % de Azúcares Reductores Totales y el % de Azúcares Fermentables están por debajo de lo establecido por las normas, 64 % y (61-66) % respectivamente. Los valores obtenidos se encuentran en el rango de 56.76 -57.78 y 53.13 - 54.35 respectivamente.

Esto demuestra que esta materia prima no cuenta con los azúcares necesarios para lograr como mínimo un 6 % de alcohol establecido en la norma. Puede afirmarse entonces que existen afectaciones en el proceso productivo.

Propiedades de la vinaza

La caracterización de la vinaza mostró que el 100 % de los valores no cumplen con lo citado por las normas de vertimientos. Además de tener valores de pH muy ácidos, poseen valores altos de temperatura.

Índice de Miel Física normalizado (IMF n): El comportamiento muestra que un alto porcentaje de los valores de este indicador están por encima de lo establecido en la norma. Esto implica un sobreconsumo de miel para producir un hL de alcohol o una fermentación muy pobre que genera

como residual del proceso un alto contenido de azúcares fermentables referente al consumo de miel.

Eficiencia de Fermentación (EF)

Los resultados obtenidos son menores que el valor citado por las normas del proceso. Este resultado puede deberse a que en el área de fermentación no se logra consumir la cantidad de azúcares fermentables a causa de una disminución en el crecimiento microbiano. En este caso existe un control adecuado del pH, y en el caso del alcohol se sabe que generalmente bajas concentraciones de etanol pueden inhibir su síntesis. Sin embargo, la temperatura de trabajo oscila entre 40 y 42 (temperatura óptima de trabajo de la levadura °C 33 y 34 °C), provocando pérdidas en el rendimiento de esta etapa.

m³ de agua/ t de miel

El comportamiento del indicador muestra que los valores no cumplen con los valores normados (3,5-4 partes de H₂O por parte de miel) que es la proporción correspondiente a la dilución de la miel.

Eficiencia de Destilación (ED)

El comportamiento indica que todos los valores están por encima de la norma (94 %) lo que indica eficiencia en la etapa de destilación.

t de CO₂ / m³ de producción

Este indicador según los resultados obtenidos en el balance de masa varía en el rango de 0.64 a 0.91 t/ m³ de producción.

Si se tiene en cuenta que la recuperación puede constituir una fuente de ingreso económico puede afirmarse entonces que se deja de ingresar una suma considerable al no aprovechar económicamente este residual. Según la resolución del MFP p -32-2007 la tonelada métrica de Gas Carbónico (CO₂) generado por fermentación alcohólica tiene un precio de salida de la empresa productora de 199.00 pesos de ello un componente en pesos cubanos convertibles (CUC) de 113.94 CUC.

m³ de vinaza / hL de alcohol producido

Los valores correspondientes a este indicador varían entre 1,6 y 2,3. Es decir, que para cada hectolitro de alcohol producido se generó por lo menos 1,6 m³ de vinaza. Si se tiene en cuenta el volumen de producción de alcohol, y el valor mínimo de m³ de vinaza por hL de alcohol, puede estimarse que fueron vertidos al medio 56873.46 m³ de vinaza en el período de estudio.

Atendiendo a todo lo anteriormente expuesto puede concluirse que existen problemas en el orden técnico, económico y ambiental, que pueden ser solubles y que permitirían a la industria trazarse metas para la búsqueda de un impacto global positivo. Los problemas principales identificados son:

1. Contaminación del medio ambiente por el alto contenido de CO₂ emitido en el proceso de fermentación.
2. Baja eficiencia en el proceso de fermentación.
3. Sobreconsumo de agua.
4. Contaminación del medio ambiente por las características que poseen la vinaza.

Generación de alternativas para implementación de opciones que conlleven al mejoramiento del desempeño técnico – económico y ambiental a través de tecnologías más limpias.

Después concluir que el desempeño de la fábrica no es adecuado y tener en cuenta las vías planteadas para la búsqueda de soluciones a partir de la aplicación de técnicas de producciones más limpias propuestas en la metodología, se evaluaron las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Recuperación del CO₂ para venta a otras empresas.

Otro aspecto a destacar y que justifica la alternativa que se propone, es que este gas resulta de importancia por su aporte al efecto invernadero, considerado como uno de los principales problemas globales de contaminación que afectan a la humanidad, puede considerarse además que pueden generarse elevadas concentraciones de este gas provocando afectaciones a los trabajadores y a la seguridad industrial.

Se propone la siguiente alternativa, surgida a partir del análisis de posibilidad de reuso externo y que permite su aprovechamiento como materia prima en otros procesos productivos, es un caso típico de aportación de valor agregado a residuales y por tanto de generación de ganancias a la entidad a partir del aprovechamiento económico de residuales.

Con un flujo que varía de 649,58 a 2168,33 kg/ h de dióxido de carbono, producidos en los fermentadores destilados en el día. Se estimó el costo de inversión que asciende a \$ 1304657,00

Si se logra recuperar las cantidades de CO₂ producidos diarios en la fábrica, se lograría, disminuir el efecto ambiental negativo que tiene

este gas y la empresa obtendría un beneficio económico a mediano plazo. Los resultados del análisis técnico, económico y ambiental de esta alternativa se analizarán posteriormente.

Considerando que se logra recuperar el 80% del gas carbónico que sale del reactor, al final de un año se debe recuperar como promedio 880 t de gas carbónico en el mes dando como promedio, 10 500 toneladas al año. Teniendo en cuenta el precio de una tonelada de gas carbónico, se logrará alcanzar un ingreso de 1148515.20 en CUC con egresos en los gastos de las utilidades auxiliares necesarias en el empleo de la alternativa. Como ventajas predominantes de esta alternativa se tienen un ingreso que bastará para la implementación de otros proyectos de importancia y la disminución en gran cantidad de la cantidad de gas carbónico emitida al medio ambiente

Alternativa 2: Instalación de un sistema de enfriamiento de agua para la batición que se está fermentando.

Este sistema incluye:

- Un intercambiador de placa y sus accesorios.
- Torre de enfriamiento de agua.
- Bombas.

Por la instalación de este sistema de enfriamiento se logrará obtener una mayor eficiencia en el área de fermentación ya que el control de la temperatura juega un papel fundamental en el funcionamiento de la levadura. Al lograr una mayor eficiencia de fermentación, se alcanzarán mayores volúmenes de producción. Se ubicarán 1 bomba por 5 fermentadores y 1 para el bombeo de agua de la torre de enfriamiento.

Con la segunda alternativa, si se logra aumentar la eficiencia de la fermentación a un 80% se logrará un % de alcohol del día de 6, logrando así un volumen mayor de producción de alcohol y disminuyendo el índice de miel física, ya que la cantidad de azúcares fermentables que salen del proceso como residual, disminuirá. Considerando el costo de alcohol que se plantea a continuación,

Se puede generar con el aumento de producción de aproximadamente 2000 hL/ mes unos 838320 CUC al año con un valor neto de 5847485.0 CUC en la vida útil del equipo.

Este valor se estimó asumiendo el 6% de alcohol del día, determinando así el alcohol ponderado. Obtenido este valor, se procede a realizar una destilación con una eficiencia de 95% ya que los resultados estadísticos de los datos históricos

referidos a la eficiencia de la destilación, nos permiten utilizar este valor con un 99% de confianza.

Se estimó el costo de inversión que asciende a \$ 173909,60.

Otro de los problemas detectado fue el consumo de agua en el proceso fermentativo. Para su solución se propone la siguiente alternativa.

Alternativa 3: Implementación de un sistema de automatización en la etapa de Mezclado.

Como se hace difícil la medición del flujo de la miel por su alta densidad, se sugiere un sistema de medición para el flujo de agua, para poder controlar el brix de proceso y controlar el consumo de miel, evitando así gastos innecesarios de agua y de miel sabiendo que el factor de dilución en los biorreactores (fermentadores en este caso) afecta el rendimiento de los mismos.

Se sugiere el empleo de un rotámetro después de haber determinado el flujo de la miel por el llenado de un recipiente graduado.

Analizando para el factor estandarizado de dilución de la miel con el agua, se ahorraría aproximadamente 33120 m³ de agua anualmente, disminuyendo así el volumen de residual generado por la planta en un 10%. Esto provocaría también un ahorro económico de 2649,60 CUC por año. Se estimó el costo de inversión que asciende a \$ 7111,74.

Conclusiones

. Se evaluaron tres alternativas para la obtención de tecnologías más limpias en la producción de etanol generadas a partir de modificaciones al proceso tecnológico y de reciclaje externo de residuales del proceso considerando criterios múltiples: técnicos, económicos y ambientales, como un sistema integral, lo cual le permite a la empresa contar con un plan de mejoras y poder tomar decisiones acertadas en la gestión empresarial.

Fuentes de información consultadas.

AZAPAGIC, ADISA. Life Cycle assessment and its application to process selection, design and

optimization / Adisa Azapagic. Revista Chemical Engineering Journal, 73:1-21,1999.

DELGADO, HUMBERTO C. Desarrollo de una cultura de calidad / Humberto Cantú Delgado. – México: McGraw-Hill, 2001. – 382p.

DUNN, R. Using process integration technology for cleaner production / R. Dunn, G. Bush. – [s.l.]: [s.n.], 200. – 45p.

GUERRERO DE MIER, CARMEN. GICA: Sistema de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental/ Carmen Guerrero de Mier, Andrés J. Leal Gallardo, Antonio Mariano Esteban Romero. – Sevilla: Tecnimap, 2006. – 12p.

NC ISO 9000: 2005. Sistema de Gestión de Calidad. Principios fundamentales y vocabulario.

NC ISO 14000: 2004. Sistema de Gestión de Calidad Ambiental.

NC ISO 14001: 1997 Sistema de Gestión Ambiental. Especificación y Directrices para su uso. – 18p.

NC ISO 14004: 1997 Sistema de Gestión Ambiental Directrices Generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo. – 40p.

DUNN, R. Using process integration technology for cleaner production / R. Dunn, G. Bush. – [s.l.]: [s.n.], 200. – 45p.

VALDES ESPERANZA. "Estudio de viabilidad de plantas de Levadura Torula y Biogás introduciendo conceptos de P+L". ICIDCA 2003

ESTEVEZ BÁEZ, ROBERTO. "Automatización y control a una Destilería"/ Roberto Estevez Báez,-- C. Habana: Minaz, 1998

ESQUIVEL LEONARDO. "Estudio del proceso fermentativo en la Destilería Sevilla" / Leonardo Esquibel -- Amancio Rodríguez, Las Tunas 1999.

ICIDCA. "Industria de los Derivados de la caña de azúcar". Ed. Científico – Técnico. LaHabana.

_____. La integración de procesos en la minimización del impacto ambiental / M. González, Luís Acevedo, Enrique González. – México: Congreso de Química, 2002. – [s.p.].