

Propuesta tecnológica para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada de la cervecería Hatuey

Technology Proposal for the Energy use of the Shake Bagasse Barley from Hatuey Brewery

MSc. Telvia Arias-Lafargue¹ tal@fiq.uo.edu.cu, Ing. Leanet López-Ríos^{II}

¹Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba; ^{II}Hospital Mario Muñoz, Freyre, Holguín, Cuba

Resumen

Resulta de gran importancia para la protección del medio ambiente el uso de plantas de biogás. Este trabajo tiene como objetivo la presentación de una alternativa para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada. Se realiza una caracterización del proceso de obtención de cerveza Hatuey, identificando los diferentes residuales generados y el uso del bagazo de malta con fines energéticos. Dentro de los aspectos de importancia tecnológica se tratan los posibles usos del biogás, así como el aprovechamiento de la biomasa resultante de la digestión como fertilizante o alimento animal. Basado en las características de la industria, se propone un biodigestor de polietileno para la fermentación del afrecho. Se realiza un análisis económico de la planta propuesta.

Palabras clave: tratamiento anaerobio; bagazo de cebada malteada; biodigestor.

Abstract

It is of great importance for the protection of the environment the use of biogas plants. This work has as objective the presentation of an alternative for the energy use of the trash of malted barley. He/she is carried out a characterization of the process of obtaining of beer Hatuey, identifying the different ones residual generated and the use of the trash of malt with energy ends. Inside the aspects of technological importance they were the possible uses of the biogás as well as the use of the resulting biomass of the digestion like fertilizer or animal food. Based on the characteristics of the industry, he/she intends a polyethylene biodigestor for the fermentation of the bran. He/she is carried out an economic analysis of the proposed plant.

Keywords: treatment anaerobe; trash of malted barley; biodigestor

Introducción

El desarrollo de la sociedad está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. La mayor parte de la que se utiliza procede de los recursos naturales existentes en nuestro planeta, principalmente del carbón y del petróleo. Estos combustibles fósiles, que han llevado al mundo al más rápido proceso de desarrollo que se haya conocido, siguen siendo aún los soportes que proporcionan más del 65 % de la energía primaria mundial. No obstante, su limitación cuantitativa, debido a la explotación irracional a la que

han sido sometidos y a su carácter no renovable, los convierte en motivo de constante preocupación. Es por ello que en estos momentos se hace necesario encontrar fuentes energéticas alternativas, que complementando las convencionales, sean capaces de cubrir la creciente demanda de energía mundial. A la vista de estos inconvenientes se han puesto en marcha diversos proyectos de investigación sobre otras fuentes de energía que puedan resultar rentables, es decir, menor dependencia del mercado convencional, desarrollo de la economía local y creación de puestos de trabajo, además de que estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente. La obtención de energía mediante la fermentación de la biomasa que la convierte en biogás y su combustión para generar electricidad en cogeneración, se ha desarrollado hasta convertirse en un segmento independiente dentro de la industria de la bioenergía de fuerte crecimiento. El biogás puede obtenerse de diferentes recursos: de los componentes orgánicos de los vertederos de basuras (gas de vertedero), de aguas residuales municipales (gas de depuración), de residuos orgánicos comerciales e industriales, así como de residuos y plantas energéticas de la agricultura.

Este trabajo tiene como objetivo la presentación de una alternativa para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada.

Fundamentación teórica

El biogás se utiliza actualmente, en su mayor parte, de forma estacionaria en plantas de cogeneración, con una eficacia muy alta para la generación de electricidad y calor. La electricidad producida puede alimentarse en la red pública o utilizarse para el suministro de energía independiente de áreas comerciales e industriales o urbanizaciones rurales de red remota. El calor de escape puede usarse, para generar electricidad adicional; pero también para calefacción, para secar o para el funcionamiento de máquinas frigoríficas. Con el uso energético de los restos orgánicos no sólo se soluciona la eliminación de residuos, sino que también se facilita la energía de proceso necesaria.

En todo el mundo, el biogás realizará una importante contribución al suministro de energía futuro por medio de un suministro seguro y económico, si se consigue utilizar como materia prima la biomasa no utilizada hasta ahora. Actualmente se desechan todavía, grandes cantidades de residuos

apropiados para la generación de biogás las cuales contribuyen al deterioro del medio ambiente que nos rodea.

En los últimos años ha aumentado el número de empresas que han contemplado a la conservación del medio ambiente como una vía de mejorar su desempeño, por lo que han implementado estrategias ambientales, que estimulen una gestión que permita contribuir al cumplimiento de los requisitos legales, reglamentarios y las expectativas de la sociedad en general.

En las industrias cubanas que presentan serios problemas de contaminación ambiental, en ocasiones falta intención de trabajo y voluntad de cambio, producto a la desmotivación por la falta de recursos. Pero ocurre también que frecuentemente falta un trabajo serio de defectación y de proyecto que propongan una solución a los problemas que generan la contaminación ambiental de nuestras fábricas.

Una de las principales dificultades ambientales identificadas en el municipio de Santiago de Cuba es la contaminación de las aguas, ejemplo es la que se aporta diariamente por varias industrias a la bahía santiaguera. La fábrica de cerveza Hatuey es uno de los principales focos que actualmente se identifican como contaminantes de dicho cuerpo receptor, determinado por el vertimiento de los residuales que se producen durante el proceso de elaboración y embotellado de la cerveza y la maltina. Enfrentando esta realidad, se ha realizado este trabajo con el propósito de utilizar el bagazo de malta con fines energéticos, utilizando la digestión anaerobia como una vía muy eficaz de tratamiento, en la cual se obtiene como producto final el biogás a partir de la degradación de la materia orgánica. Esta alternativa permitiría la disminución de la carga contaminante de las aguas de la bahía santiaguera.

Tecnologías de tratamiento utilizadas en cervecerías del mundo para la gestión de residuales

En todos los procesos productivos se generan desechos después de obtenido el producto deseado, el cual debe tratarse de manera tal que su disposición final no afecte al medio ambiente. En el caso específico de la industria cervecera se genera un efluente con alta carga de materia orgánica, sólidos y otras sustancias, situación que hace necesaria la implementación de medidas para contribuir a la gestión de los residuales cerveceros. Los granos gastados y los restos de levaduras contribuyen en gran medida al volumen de residuo

que se genera y que constituye en algunas ocasiones un problema crítico que requiere de un análisis práctico. [6]

En México el grupo Modelo encontró en los desechos naturales de la cebada malteada una fuente de energía alterna, con la cual redujeron la emisión de cerca de 70 mil toneladas de CO₂ además de ahorrar al año el 20 % del combustible. [11]

Estrella de Levante genera en su proceso de producción un residuo orgánico denominado bagazo, que hasta ahora se destina a la alimentación animal, por poseer cierto valor nutritivo, aunque con un valor económico muy bajo, por ello ELESA se ha planteado el aprovechamiento energético del bagazo por tratarse de una biomasa con considerable potencial de producción de biogás que servirá para la sustitución parcial del combustible de gas natural consumido en la fábrica. [2] Como estudio previo al diseño de la planta piloto, los técnicos realizaron un ensayo real de biometanización del bagazo en la Universidad de Muesen Friedberg, en Alemania, que consistió en someter a una muestra de 250 g del bagazo obtenido en la fábrica al proceso de biometanización durante 22 días, tras este ensayo se determinó que el potencial de producción de biogás sería de 170 Nm³/ton de bagazo. Una vez desarrollado el proyecto y la tecnología utilizada podría aprovecharse más o menos la energía, dependiendo siempre del rendimiento del proceso.

Las principales conclusiones después de la realización de los análisis son que el bagazo digerido es un producto orgánico con aptitudes para ser considerado como posible enmienda para suelos debido a su elevado contenido en materia orgánica y aceptable contenido en macro y micro nutrientes. Posee elevados contenidos en sales por lo que es necesario optimizar las dosis para no producir un efecto negativo en determinadas especies vegetales.

En nuestro país también se tratan de efectuar medidas en aras de minimizar el impacto ambiental. El trabajo en materia de PML (Producciones más Limpias) en el país, ha tenido auge a partir del año 2001, en que se han desarrollado múltiples experiencias en el sector empresarial, en especial en el azucarero, frutícola y alimentario, sobre todo en ese último, se reportan muy buenas experiencias en entidades como la Cervecería Tínima, donde se han obtenido ahorros de materias prima, insumos, electricidad, agua, así como

disminución del volumen y la peligrosidad de los residuales líquidos y sólidos generados.

En la Cervecería Tínima se aplican acciones que reducen considerablemente los efectos negativos que pueden provocar sus procesos productivos al medio ambiente. Se instaló una planta para el tratamiento de la sosa cáustica, destinada al lavado de las botellas, mediante la cual se garantiza el reaprovechamiento de esa sustancia química. De manera similar trabajan con el dióxido de carbono que antes liberaban hacia la atmósfera, y ahora reutilizan más del 85 %, tanto en sus propias producciones, como en la venta a otras industrias. En la planta de tratamiento de residuales se ha propuesto la reparación paulatina de las diferentes etapas de tratamiento, comenzando por las operaciones de pretratamiento, lo que unido a las medidas internas pueden traer una mejora sensible e inmediata de los niveles de vertimiento al medio ambiente, aunque se impone la recuperación total de la planta.

En la Cervecería “Antonio Díaz Santana” de Manacas, Villa Clara, diseñaron y construyeron una laguna de estabilización para la reducción de la carga contaminante del efluente final, beneficiando la protección del ecosistema y medio ambiente en general. [5] Puntualizar que en esta institución el afrecho que es uno de los residuos sólidos que se genera en mayor cantidad, es recuperado totalmente y es comercializado para el consumo animal.

Con estos ejemplos de estrategias ambientales para el uso de prácticas de PML se percibe el avance de las industrias de nuestro país en cuanto a materia de gestión ambiental. Es muy importante la implementación de tecnologías y acciones que permitan el manejo eficiente de los residuales, reúso y reciclaje de estos para lograr la disminución de la contaminación e incrementar el desempeño ambiental de las empresas.

Sistemas biológicos de depuración

Los sistemas biológicos consisten básicamente en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica presente en las aguas, de manera que parte de esta se oxida o reduce y el resto se transforma en nuevos microorganismos que se retiran por decantación o flotación.

Los sistemas biológicos se pueden clasificar en dos grandes grupos, en función del tipo de microorganismo encargado de biodegradar la materia

orgánica: aerobios y anaerobios. [3] En los primeros se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos y la mayor parte de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado. En los segundos no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido.

En vista de ello, la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida y una mínima parte es convertida en lodo (3 a 10 %). Son múltiples los factores que influyen en los procesos fermentativos, entre ellos se destacan: [12,13]

Tipo de materia orgánica

Las materias primas fermentables incluyen los excrementos, aguas residuales orgánicas de las industrias, restos de cosechas y basuras de diferentes tipos.

pH del medio

El valor óptimo de pH está en el rango de 6,6 a 7,6, puede aceptarse hasta 8,5.

Temperatura

A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención necesitando menor volumen para digerir una misma cantidad de biomasa.

Tabla 1
Relación de la temperatura con el tiempo de retención

Temperatura °C	8	10	15	20	27	37
Tiempo (días)	120	90	60	45	38	30

Nutrientes

El nivel de nutrientes para la microflora debe ser elevado. Los materiales con diferentes proporciones de carbono/nitrógeno (C/N) difieren ampliamente en sus rendimientos de biogás.

Problemas de toxicidad

Los compuestos tóxicos influyen negativamente en el proceso de digestión al disminuir la velocidad del metabolismo de la microflora.

Ritmo de carga

El ritmo de producción de biogás se refiere al rendimiento de biogás producido por unidad de masa de materia seca (ms) o materia orgánica (mo).

Tiempo de retención (TR)

El TR está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo.

Inhibidores

Cuando una sustancia se encuentra por debajo de su concentración límite servirá como estimulador, cuando lo sobrepase la sustancia tiene efecto tóxico.

Relación Carbono/ Nitrógeno

El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción.

Biodigestores [12]

Un biodigestor es un sistema que se utiliza para convertir desechos orgánicos en gas metano y fertilizantes naturales de alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Su principio básico de funcionamiento es descomponer los alimentos en compuestos más simples. Su tamaño radica en el uso que se le va a dar al material que se genere, y a la cantidad de desechos que se le va a introducir.

Clasificación de los digestores anaerobios teniendo en cuenta los métodos de retención de la biomasa dentro del reactor [1,9]

Por el grado de desarrollo del diseño del digestor se clasifican en tres generaciones:

Reactores de primera generación

Agrupar los reactores anaerobios más primitivos. Se caracterizan porque en su interior la biomasa activa se encuentra en suspensión o sedimentada con un mínimo de contacto con el sustrato. Estos digestores poseen tiempos de retención hidráulica (TRH) entre 5 y 30 días según el tipo específico de

digestor. La mayoría de ellos se emplean en el tratamiento de desechos sólidos y en la depuración de aguas residuales urbanas. En esta generación de reactores se encuentran:

El tanque Imhoff y la fosa séptica: se aplican en pequeños núcleos de población y pueden constituir el único método de depuración del agua residual o la primera etapa del tratamiento.

Los **digestores convencionales** son los que más se han desarrollado en las condiciones de Cuba. Fueron los primeros que surgieron para el tratamiento de residuales agrícolas fundamentalmente.

El **digestor completamente mezclado** puede trabajar de forma continua o discontinua, es muy sencillo y no dispone de sistema de retención de biomasa; requiriendo elevados tiempos de retención hidráulica. Es el más utilizado en la línea de lodos de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas.

Los **digestores de flujo de pistón** funcionan de forma continua, posee sistemas de agitación y calentamiento. Son muy utilizados en el tratamiento de fangos con alto contenido de sólidos, como los residuos ganaderos.

Los **digestores de contacto** son de aplicación más universal en el tratamiento anaerobio de aguas residuales. Se aplica mucho en el tratamiento de residuos ganaderos, efluentes industriales de mataderos, cerveceras, combinados lácteos, destilerías y otros.

- Reactores de segunda generación

Poseen la biomasa adherida o en suspensión y los microorganismos son retenidos dentro del reactor por dos vías: mediante un soporte al cual se adhieren formando una biopelícula, o por sedimentación interna. Están diseñados básicamente para la remoción biológica de la materia orgánica contenida en las aguas residuales urbanas o industriales. El tiempo de retención hidráulica en ellos es bajo, comparados con los reactores de primera generación, oscilando entre 0,5 a 3 días, lo que implica una importante reducción en los volúmenes del reactor, una mayor estabilidad y facilidad en su operación. Los principales representantes de esta generación son:

- ✓ Los digestores de lecho anaerobio con flujo ascendente (UASB), no precisan de ningún soporte para retener la biomasa, pues la propia biomasa produce los flóculos con buena capacidad de sedimentación

en el propio reactor; que retarda su arrastre fuera del digestor. Opera siempre con un flujo ascendente de las aguas residuales o lodos a tratar. Se aplica en la depuración de aguas residuales de cerveceras, papeleras, industria azucarera y de conservas.

- ✓ Los digestores de filtro anaerobio, utilizan material de relleno inerte en el reactor, donde se adhiere la biomasa que se desarrolla durante el tratamiento de depuración.

En los **digestores de película fija**, el relleno impide la colmatación del filtro y pueden trabajar con flujo ascendente o descendente.

- Reactores de tercera generación

Al igual que los reactores de segunda generación, retienen en su interior a los microorganismos en forma de biopelículas, pero el soporte se expande o fluidifica a altas velocidades de flujo. El tiempo de retención hidráulica alcanzado por estos puede llegar a ser inferior a 12 h; lo que es posible por la alta superficie del soporte y la fuerte agitación en el lecho. De esta clase de reactores existen dos variantes:

Los **digestores de lecho expandido o fluidificado** donde se produce un lecho mixto, con biomasa activa adherida sobre partículas inertes de alta densidad y pequeño tamaño (arena fina, alúminas). La aplicación industrial de esta tecnología aún está en investigación.

Existen también los denominados **sistemas híbridos**, en los que se combinan en un mismo reactor dos tecnologías diferentes. La más conocida es el digestor híbrido UASB/Filtro Anaerobio donde se aprovechan las ventajas de cada reactor para optimizar el volumen y la eficiencia del reactor.

- Por el método de retención de la biomasa dentro del reactor

En base a la retención de la biomasa, existen dos clasificaciones: digestores de biomasa no adherida y digestores de biomasa adherida.

- Digestores de biomasa no adherida
 - Sistemas sin recirculación de lodos
 - Digestor de mezcla completa
 - Digestor de flujo de pistón
 - Lagunas anaerobias
 - Sistemas con recirculación de lodos
 - Digestor anaerobio de contacto

- Sistemas con sedimentación interna
- Digestores lecho anaerobio con flujo ascendente
 - Digestores de biomasa adherida
- Sistemas de lecho fijo
- Filtro anaerobio
- Digestor de película fija
- Sistemas de lecho expandido y fluidificado
- Reactor EGSB
- Reactor de lecho fluidificado

Tipos de biodigestores más utilizados [12]

En el mundo más del 80 % de las plantas de biogás pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres se derivan de los países en que se realizaron los primeros modelos y luego se les dio una difusión masiva: Chino e Hindú.

Digestores sistema Hindú (Campana flotante) [12]

Este es un sistema que fue desarrollado en la India, y está compuesto por un tanque o pozo generalmente de mampostería, enterrado utilizando la tierra como aislante para evitar pérdidas de calor y como soporte de las paredes que ayude a contrarrestar la presión hidrostática interna de la biomasa en fermentación.

Digestores de sistema chino [12]

Es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana movable y totalmente enterrado. Igual que el modelo hindú, recibe la carga fresca por un conducto que la lleva a parte baja y entrega el efluente, por rebose, a un depósito externo en la parte superior.

Digestores de polietileno [12]

Los modelos de biodigestores, construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, requiriendo solo de materiales locales para su construcción (figura 1). Por ello se consideran una tecnología apropiada. Están ampliamente utilizados en países del sureste asiático, pero en América Latina, solo los países como Cuba, Colombia y Brasil desarrollan esta tecnología. Este biodigestor, tiene tres límites básicos: la disponibilidad de agua para hacer la mezcla que será introducida; la cantidad de material con que se cuente y la apropiación de la tecnología por parte de quien la emplee. Este modelo de biodigestor consiste

en aprovechar el polietileno tubular para disponer de una cámara de varios metros cúbicos herméticamente aislada. Este hermetismo es esencial para que se produzcan las reacciones biológicas anaerobias.

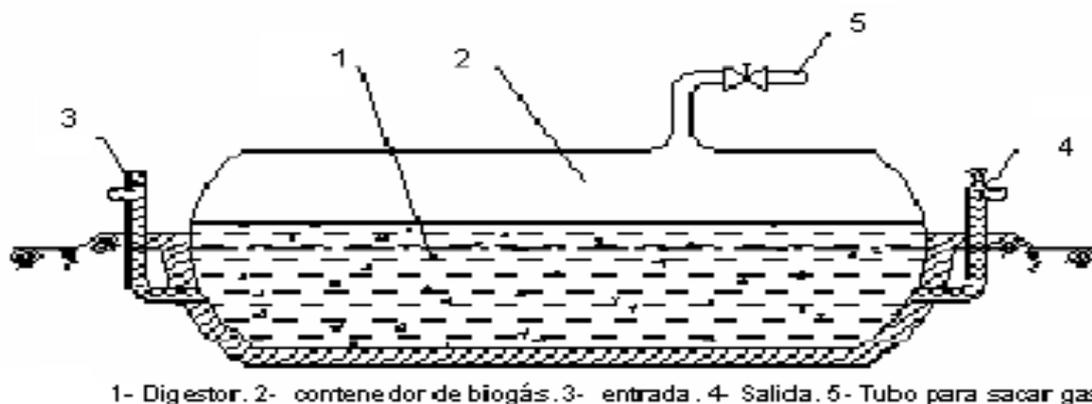


Figura 1. Esquema de un digestor

Criterios de diseño y construcción de un biodigestor de polietileno [12]

El diseño de un biodigestor depende directamente de parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar, la que marcará la actividad de las bacterias, el tiempo de retención. Por otro lado, la carga diaria determinará la cantidad de biogás producido por día y el tiempo de retención (determinado por la temperatura), determinarán el volumen del biodigestor.

Ventajas del uso de biodigestores [8,12]

El uso de biodigestores para la degradación de residuos orgánicos es de vital importancia ya que con su aplicación se pueden disminuir considerablemente la problemática energética-ambiental. Entre las ventajas que trae consigo su utilización están las relacionadas con el medio ambiente, las asociadas con el bienestar familiar, así como la obtención de fertilizantes y gas metano.

Los productos de la digestión anaeróbica son muy importantes ya que se pueden utilizar de forma beneficiosa por su aplicación en varias esferas de la economía. Estos productos secundarios son el biogás, fertilizante o alimento animal. Los residuos de la digestión anaeróbica se dividen en dos tipos: los líquidos, que contienen sustancias disueltas y los condensados, los cuales son sedimentos del fondo del digestor. A continuación se presentan algunas de las características y aplicaciones de los mismos.

Biogás [4, 7,10]

El biogás es un gas compuesto por alrededor de 60 % de gas metano y 40 % de dióxido de carbono. Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico. Su poder calorífico promedio es de 5 000 Kcal. Un metro cúbico de biogás permite generar entre 1,3-1,6 kW/h, que equivalen a medio litro de petróleo, aproximadamente. Puede ser utilizado como cualquier otro combustible, y constituye una tecnología limpia pues los gases generados por este no son nocivos.

Algunas de las aplicaciones son: para la cocción de alimentos; para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas; en calderas para generación de calor y electricidad; en motores o turbinas para generar electricidad; en pilas de combustible. Mezclas de biogás con aire, en una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados. Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

Efluente del biodigestor como fertilizante y alimento para animales [12]

El efluente de un biodigestor llamado **Biol** es de gran interés porque cuenta con varias aplicaciones, una de ellas es su utilización como fertilizante orgánico, ya que presenta características similares a los fertilizantes tradicionales y son más nutritivos debido a que contienen además de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, sustancias útiles para las plantas.

El efluente de la digestión anaeróbica puede ser utilizado como alimento para animales ya que contiene sustancias útiles para beneficio de los mismos, por ejemplo, Calcio, Fósforo, Nitrógeno, Hierro, Cobre y Zinc, muchos tipos de proteínas, celulosas y aminoácidos. La digestión anaerobia es muy atractiva tanto desde el punto de vista del reciclaje como energético, ya que el gas que producen es rico energética y caloríficamente.

Caracterización del proceso de producción de cerveza Hatuey

Durante todo el proceso de elaboración de cervezas y maltinas se generan grandes cantidades de residuales, los cuales se vierten al río Yarayó que desemboca en la bahía santiaguera. Nunca han existido sistemas de tratamiento para ellos y pocos desechos han sido recuperados eficientemente. Todo esto ha provocado que por años se incremente la

contaminación de los mencionados cuerpos de agua con la consiguiente disminución de su capacidad de autodepuración. Entre los residuales se encuentran:

Bagazo de malta: Comúnmente denominado afrecho. Es frecuentemente un subproducto de la elaboración de la cerveza y acaba empleándose en la industria de alimentación de los animales. Este residual, en la fábrica en cuestión, es vendido a pecuaria (industria que se dedica a la cría de animales); en el 2012 se vendieron 2 035,6 ton de este subproducto, constituyendo el mayor residual generado en la fábrica; sin contar que por desperfectos de los equipos en esta parte de la planta existe otra gran cantidad de bagazo de cebada que se pierde (10 % de la producción total de cebada que se genera en el proceso) vertiéndose por el desagüe al río Yarayó repercutiendo así en un deterioro medioambiental y a la fábrica en general.

Crema de levadura: Se presenta en forma de jarabe que normalmente se elimina como materia residual. Es rico en prótidos muy nobles y en vitaminas del complejo B. En la cervecería en cuestión, este residual al igual que el afrecho es vendida a entidades dedicadas a la cría de animales fundamentalmente a porcino.

Barreduras y polvos de limpieza de la malta: En el previo tratamiento al grano surgen desechos que van a parar a la canalización; en 2012 se estiman aproximadamente 54, 4 ton vertidas de este producto.

Entre estos los ideales en la utilización con fines energéticos son:

- Bagazo de malta (afrecho).
- Barreduras y polvos de limpieza del grano de cebada.

El residual orgánico denominado bagazo de malta (afrecho), que hasta ahora se destina a la alimentación animal, por poseer cierto valor nutritivo, aunque con un valor económico muy bajo, será el centro de atención de este trabajo al tratarse de una biomasa con considerable potencial de producción de biogás.

Características del bagazo de malta

El bagazo de malta consiste básicamente de la cáscara del grano de cebada, obtenida después de la elaboración del mosto cervecero. Por esta razón, su composición química puede variar de acuerdo con el tipo de cebada utilizada y de su tiempo de recolecta, las condiciones de malteación y de mosturación

a que fue sometida y a la calidad y tipo de adjunto adicionados en el proceso cervecero.

Es un material lignocelulósico rico en proteínas y fibras. De los componentes del bagazo de malta, la celulosa y hemicelulosa son sustancias que fermentan sin ninguna dificultad, por lo que se recomienda su uso para la generación de biogás por vía fermentativa.

Aprovechamiento energético del bagazo de cebada

Tomando como referencia la experiencia de la Fábrica de Cerveza Estrella de Levante, S.A. y teniendo en cuenta la cantidad de bagazo de cebada que se vende a porcino (2 035,6 ton), 11, 4 ton que se vierten directamente al alcantarillado y 54, 4 ton de barreduras y polvos de limpieza de la malta, representa una producción de 2 101, 4 ton de cebadilla de cerveza en el 2012 por la Cervecería Hatuey. Si se logra la recuperación total de este residuo, se estima una generación de:

$$2\,101,4\text{ t} * 170\text{ Nm}^3/\text{ton} = 357\,238\text{ Nm}^3/\text{año}2012\text{ de producción biogás.}$$

Posibles usos del biogás en la Cervecería Hatuey

La cervecería pudiera aprovechar el bagazo de malta en cuanto a:

Energía eléctrica

$$1\text{ m}^3\text{ biogás (totalmente combustionado)} \Rightarrow 1,25\text{ kWh de electricidad}$$

$$357\,238\text{ m}^3\text{ biogás (totalmente combustionado)} \Rightarrow 446\,547,5\text{ kWh}$$

En el año 2012 se consumió en la fábrica 4 750 MWh, por tanto con la utilización del biogás la empresa se pudo ahorrar el 9, 4 % del consumo energético de ese año.

Combustible

$$\text{Poder Calórico Inferior (Biogás)} \rightarrow 5\,500\text{ kcal/m}^3$$

$$357\,238\text{ m}^3\text{ Biogás} * 5\,500\text{ kcal/m}^3 = 1\,964\,809\,000\text{ kcal}$$

$$\text{Poder Calórico Inferior (fuel-oil)} \rightarrow 10\,000\text{ kcal/kg}$$

$$1\,964\,809\,000\text{ kcal} / 10\,000\text{ kcal/kg} = 196\,480,9\text{ kg}$$

Por tanto para una producción anual de 357 238 m³ por concepto de afrecho; en la entidad se hubiera podido tener un ahorro de fuel-oil de 196, 48 ton en el año 2012. La entidad consumió 1 828,14 ton de combustible en el año 2012. Para sustituirlos en las calderas de la cervecera se necesitarían 3 656 280 kg de biogás. Con la utilización del biogás la empresa

hubiese ahorrado el 5,37 % del consumo de fuel-oil del año. Se puede plantear que: 1 m^3 biogás $\rightarrow 0,71 \text{ L}$ de fuel-oil [1]. Entonces para una producción: $357\,238 \text{ m}^3/\text{año}$ (biogás) $\rightarrow 253\,638,98 \text{ L}$ de fuel-oil. Con la utilización del biogás la empresa se hubiese ahorrado el 13,36 % del consumo de fuel-oil (año 2012), que equivaldría a $253\,681,8 \text{ L}$.

Por tanto podemos decir que la generación de biogás representaría un ahorro considerable de combustible, demostrando la eficiencia que esta tecnología puede ocasionar a la cervecería en cuestión y al país en general.

Diseño de la propuesta del biodigestor de polietileno

Las plantas de biogás hechas de polietileno pueden tener distintas configuraciones: alargado, en forma de gusano o en forma de saco, y son de fácil instalación (figura 2).

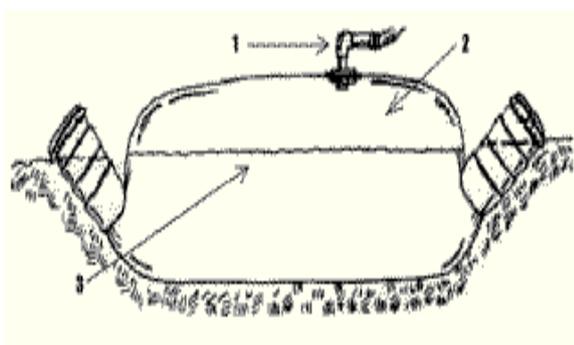


Figura 2. Esquema del digestor de polietileno tipo saco y ejemplo del digestor tipo gusano. 1. Válvula de salida; 2. Almacenamiento de biogás; 3. Nivel del agua con materia orgánica

En la cervecera de estudio se generan $7\,300 \text{ kg}$ de afrecho húmedo cada día laboral.

Dimensionamiento del biodigestor [2]

Las dimensiones del equipo, serán estimadas según el tiempo de retención de la carga, en este caso utilizando las experiencias realizadas en España:

$$TR = 22 \text{ días}$$

El volumen del digestor (V_D) es determinado por el tiempo de retención y por la cantidad diaria de cieno de fermentación.

$$V_D = C_f * TR$$

$$V_D = 29,2 \text{ m}^3/\text{día} * 22 \text{ días} = 642,4 \text{ m}^3$$

El volumen del depósito del gas (V_G), representa el 20 % del volumen del digestor (V_D) por lo que: $V_G = 128,48 m^3$

El digestor necesario para la fermentación del bagazo de malta generado en la cervecería debe tener $642,4 m^3$ de capacidad.

Costo y beneficios de la planta de biogás

Las plantas de biogás hechas de polietileno son instalaciones que han logrado disminuir considerablemente los costos de los biodigestores. El costo de un digestor de polietileno está en el orden de los 400 CUC para una capacidad de tratamiento de $4 m^3$, para este caso el digestor calculado, tiene un costo de 64 240 CUC. La planta de biogás es una infraestructura estéticamente agradable que permite, con mínimos gastos de construcción y con una atención muy sencilla en su operación, lo siguiente: [7]

- Tratar totalmente los desechos orgánicos o residuales contaminantes
- Aprovechar el biogás producido en las necesidades energéticas.
- Recuperación inmediata del mejoramiento de las condiciones del medio ambiente, con un evidente beneficio ecológico.

Análisis económico

Para el análisis económico se tuvo en cuenta primeramente el consumo eléctrico de la entidad en cuestión. Para el sector no residencial, la empresa pagó en el año 2012 un total de 21 090 CUC por consumo de 4 750 MWh de electricidad. Generando 446,54 MWh a partir del biogás la empresa hubiese ahorrado 1 982,67 CUC. En el caso del consumo de fuel-oil promedio en el año 2012 osciló sobre los 76,30 CUC, se puede deducir que la empresa gastó un total de 139 487,08 CUC para un consumo de 1 828,14 ton de fuel-oil.

La sustitución de una parte del fuel-oil por combustible alternativo (biogás en este caso), significaría un ahorro monetario de 18 632,33 CUC pues implica el ahorro de 244,2 ton de combustible.

El costo total de la inversión estaría dado por el costo del reactor de biogás y el grupo electrógeno. El costo del reactor está valorado en 64 240 CUC y el precio de un grupo electrógeno a biogás suministrado por la Firma Alemana Aqualimpia es de 8 800 CUC. La inversión estaría valorada en un total de 73 040 CUC por lo que la misma se amortizaría en un período de 3,6 años.

Posibilidad de instalar en la industria el biodigestor de polietileno

Instalar un biodigestor de polietileno en la cervecera es una opción muy beneficiosa y novedosa para la entidad, pues no solo dejaría de verter residuales sólidos, sino que se revierte en beneficios económicos y estéticos.



Canalización



Biodigestor de polietileno

Se plantea lo de los beneficios estéticos, pues se considera apropiado utilizar el área de canalización que desde hace muchos años ha perdido su valor de uso.

La utilización de la canalización que en la actualidad se encuentra deteriorada por los volúmenes de residuales sólidos (afrecho) que contiene para la instalación del biodigestor propuesto no traería ninguna afectación, ya que a la industria se le fue asignado un presupuesto para reubicar y remodelar una canalización nueva en cuyo trazado interior se trabaja. Por ello sería provechoso destinar ese presupuesto para la construcción del biodigestor, con el cual se garantiza la posibilidad de obtener una fuente de energía renovable con pocos recursos y bajo costo.

Conclusiones

- 1. Aprovechando energéticamente el bagazo de malta se obtiene una producción de biogás de 357 238 m³/año, lo que pudiese permitir el ahorro de 1 982,67 CUC por consumo energético y 18 632,33 CUC por consumo de combustible en el año 2012.***
- 2. El costo total de inversión de la planta de biogás es de 64 240 CUC el cual se amortizaría en un período de 3 años y 6 meses.***

3. La utilización de la canalización de la industria para la instalación del biodigestor de polietileno, constituye una alternativa beneficiosa y novedosa para la entidad en cuanto a lo energético, estético, económico y medioambiental.

Bibliografía

1. BIODIGESTORES. Ficha técnica. Soluciones prácticas-ITDG. Tecnologías desafiando la pobreza. Lima, Perú. Consultado, 16 de marzo de 2013. Disponible en línea, <http://scholar.google.com/cu> "Biometanización a partir de biomasa consistente en bagazo de cervecera. Revista Argem informa. Región de Murcia." Noviembre/Diciembre 2008, paginas 3 - 6. Consultado, 16 de marzo de 2013. Disponible en línea <http://www.argem.es>.
2. CHERNICHARO, C. A. "Pós-tratamiento de efluentes de reactores anaeróbios". *Programa de Pesquisa em Saneamento Básico –PROSAB*. FINEP/CNPq/Caixa Econômica Federal. Rio de Janeiro, 2000.
3. DINZA TEJERA, D.; RECIO RECIO, A. A. "Aprovechamiento energético del Biogás a partir de los Residuales de la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba". *Ponencia en MECA-ENERMA*. Centro de Estudios de Eficiencia Energética (CEEFE). Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. 2013
4. DUPINFONSECA, M.. "Propuesta de Alternativas de Producción Más Limpia en la Empresa Cervecera Antonio Díaz Santana". Tesis de Maestría. Directores: Dra. Belkis Guerra Valdés y Dr. Guillermo Esperanza Pérez. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas Facultad de Química y Farmacia. Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). 2008.
5. FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. "Water, wastewater and waste management in brewing industries." *Journal of Cleaner Production*. 2006, núm. 14, pp. 463 – 471.
6. GUARDADO CHACÓN, J. A. "Tecnología del biogás". Informe inédito. Cubasolar, 2006.
7. LÓPEZ, J. "Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio." Tesis de grado en opción al título de Ingeniería Química. Directora, Dr.C. Valeria OchoaHerrera. Colegio Politécnico, Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. 2011.
8. MARTÍNEZ ROTGER, J. L. "Estudio de los residuales en la Fábrica de Cervezas Hatuey, Santiago de Cuba; para su posible aprovechamiento energético". Informe inédito. Universidad de Oriente. Facultad Ingeniería Mecánica. 2010.
9. RODRÍGUEZ SEÑER, A. "Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de residuos alimentarios". Departamento Calidad y Medio Ambiente, Procesos Fermentativos en la I.A. Madrid, 2005
10. SANDOVAL, N. "Nueva fuente de energía". *Mundo Ejecutivo*. 2009, pp. 82 – 83.
11. SANTANA LEDO, A. "Propuesta de un biodigestor para el procesamiento de la excreta animal generada en el Laboratorio de Anticuerpos y Biomodelos Experimentales (LABEX)". Trabajo de diploma.

Director: Ing. Javier Felipe Gener Díaz, MSc. Frank A. Vendrell Calzadilla.
Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química. 2011.
12.VITORATTO PROACQUA, E. "Tratamento de efluentes líquidos orgânicos sistemas anaeróbios". Processos de tratamento de efluentes e com. Ltda Faculdade Oswaldo Cruz. 2004