

**FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES Y AGROPECUARIAS**

**Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero en
Procesos Agroindustriales**

**Título: Evaluación de la eficiencia en la producción de
etanol en la destilería Urbano Noris de la provincia
Holguín.**

Autor: Víctor Rolando Gómez Cruz

Tutores: Ms C. Aretmio Hernández de Armas

Ing. Roberto Alejandro García Reyes

Holguín 2023

RESUMEN

La producción de alcohol a partir del jugo de la caña de azúcar en Cuba es una tradición de muchos años, la cual se ha visto afectada por el decrecimiento de la agroindustria azucarera en el país. No obstante las destilerías buscan lograr eficiencia en el proceso de producción del alcohol. El objetivo de la investigación fue la evaluación de la eficiencia del proceso productivo, para establecer indicadores de la eficiencia global de la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín. Para darle cumplimiento al objetivo planteado se realizó una caracterización del proceso utilizado para la producción de etanol en la destilería donde luego se determinó la eficiencia del proceso y se recomendaron un plan de acciones para la producción de etanol en la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín. En los parámetros de producción y eficiencia que exhibe la destilería en el momento de estudio, no cumple su plan de producción ni el tiempo perdido establecido, sin embargo esto no es consecuencia de una baja eficiencia toda vez que la eficiencia global si se cumple. Las principales causas de no cumplirse el plan de producción se debe al alto tiempo perdido cuyas causas fundamentales son la falta de fuel oíl para la generación de vapor e interrupciones de energía eléctrica por la contingencia energética que enfrenta el país. La evaluación de la metodología se cumple con los 8 aspectos invalidantes y obtiene cualitativamente 92.3 %, por encima del 85% que se considera el límite inferior para ser evaluada como satisfactoria, por lo que se considera como eficaz el método evaluativo como indicador de la eficiencia de una destilería.

ABSTRACT

The production of alcohol as from the sugar cane industry in Cuba is a tradition of many years, which has looked affected by the decrease of the sugar agroindustry at the country. They attempt to achieve efficiency in the process of production of the alcohol regardless of the distilleries. The objective of investigation was the evaluation of the efficiency of the productive process to establish indicators of the global efficiency of the distillery, Urbano Noris of the province Holguín. A characterization of the process utilized for the production of ethanol at the distillery where next the efficiency of the process was determined came true in order to give fulfillment to the presented objective and they were recommended a plan of actions for the production of ethanol at the distillery Urbano Noris of the province Holguín. In the parameters of production and efficiency that the distillery upon study demonstrates, not even the time once this was lost establishedly, however does not fulfill its production schedule all time is not consequence of a low efficiency than the global efficiency if it comes true. The principal causes of not coming true the production schedule is due to the loud lost time whose fundamental causes are the lack of fuel oil oil for the generation of vapor and interruptions that the country confronts of electric power for the energetic contingency. The evaluation of the methodology obeys him with the 8 aspects invalidantes and you obtain 92,3 % qualitatively, on top of the 85 % that considers the inferior limit to be evaluated itself like satisfactory, which is why one considers eat efficacious the method evaluativo like indicator of the efficiency of a distillery.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1. Producción de etanol.....	5
2. Fases de la producción de etanol	5
2.1. Fermentación	5
2.2. Fermentación aerobia.....	5
2.3. Fermentación anaerobia o Fermentación alcohólica.....	6
3. Tipos de fermentación alcohólica	6
3. Eficiencia fermentativa alcohólica.....	8
4. Sistemas de destilación y rectificación de alcoholes instalados en Cuba	13
5. Empleo de jugos y melazas de caña en la producción de alcohol.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Caracterización de la destilería objeto de estudio.....	26
Aspectos que se incumplen de la metodología evaluada	28
Precisiones y recomendaciones	32
CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

INTRODUCCIÓN

Un problema apremiante del desarrollo económico de las regiones con disponibilidad de caña de azúcar es la reanimación de esta industria, por lo que la competitividad de este sector industrial será siempre de primera necesidad. Para ello se debe tener en consideración que la caña de azúcar es una planta con un espectro prácticamente infinito de aprovechamiento para la fabricación de diferentes productos, entre los cuales el azúcar ocupa, hasta la fecha, un lugar primordial. Desde hace varios años, el azúcar viene enfrentando una situación de incertidumbre como producto de comercialización internacional. Por esta razón ha sido interés de los países productores de caña de azúcar el desarrollo de una estrategia para incrementar su competitividad. La misma ha incluido como acción fundamental la diversificación de la industria mediante el uso integral de la caña de azúcar, como materia prima, para la obtención de derivados y subproductos (De Armas *et al.*, 2021).

García *et al.* (2015), plantean que la idea actual debe ser fraccionar la biomasa atendiendo a obtener no uno, sino varios subproductos que sean susceptibles a la vez, cada uno fuente de materia prima para un determinado producto que tenga una demanda en el mercado, que puede ser pequeña en cantidad, pero como mercado al fin, en un concepto de economía de regiones, permite viabilizar la rentabilidad de las instalaciones industriales, al plantearse en símil con las refinerías de petróleo una gama de productos que satisfagan diversas demandas, quizás con algunos productos líder de alta demanda como pueden ser además del azúcar, el etanol, la electricidad, todo ello estableciendo el concepto de biorrefinería de la caña de azúcar.

Hasta ahora, la producción de etanol ha sido sobre la base de jugos o licores, a partir de las frutas y, más recientemente, con el uso de granos comestibles, que compiten con la producción de alimentos. En la actualidad, el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de etanol, a partir de materiales lignocelulósicos ya es un hecho, aunque todavía su rentabilidad económica necesita de ajustes que hagan más productivo el proceso de obtención; en especial, en los momentos

actuales de relativamente bajos precios del petróleo, pero no cabe duda que, en pocos años, este tendrá su máxima expresión tecnológica, con grandes avances en rendimiento y eficiencia económica (Campo *et al.*, 2020).

Estabilizar la producción de etanol celulósico, a nivel mundial, sería un gran paso de avance, tanto por no utilizar granos y otros alimentos, o disminuirlos, en la producción de este preciado combustible natural y renovable, así como disminuir, en gran medida, la utilización de combustibles fósiles, en actividades productivas y de transporte cotidiano de la sociedad, tanto en países desarrollados y en desarrollo, lo que contribuiría positivamente, en mitigar las consecuencias del cambio climático y favorecer el cuidado de la capa de ozono (Campo *et al.*, 2020).

La deshidratación catalítica heterogénea de etanol para producir etileno se ha estudiado con diferentes catalizadores. Algunos trabajos y patentes reportan la alúmina como uno de los materiales de mejor desempeño para esta reacción. Sin embargo, cuando se usa alúmina se suelen requerir altas temperaturas y el material se desactiva por la formación de coque. Adicionalmente, varias zeolitas (principalmente la HZSM5) y/o modificaciones de estas con metales (Cu, Zn, Mn, cationes La/Ce). En general, se prefiere el uso de zeolitas, ya que poseen sitios bien caracterizados, pudiéndose controlar la cantidad y la fortaleza ácida (Rosales y Arantes, 2019).

El etileno producido a partir de la caña de azúcar ahorra alrededor del 60% de la energía fósil y reduce en un 40% la Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en comparación con la producción petroquímica. Sin embargo, la desventaja principal del proceso depende del precio de la materia prima (caña de azúcar) y de la poca escala de producción que tiene esta ruta con respecto a la otra. El camino en este tipo de producción es hacia el desarrollo de nuevos catalizadores capaces de proporcionar altos rendimientos de etileno empleando bajas temperaturas de reacción, así como la evaluación técnica, y el diseño de una planta de producción de etileno a partir de bioetanol de caña de azúcar (Morales *et al.*, 2021).

El aumento de la producción de alcohol en el mundo está aparejado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan obtener etanol a partir de residuos

agrícolas, maderables, de desechos sólidos y de todos los materiales que contengan celulosa y hemicelulosas, para permitir entonces revalorizar los desechos de varias industrias y convertirlos en materia prima para la obtención de alcohol (Viñals *et al.*, 2012). La producción de etanol de maíz es una tecnología establecida, pero es una fuente básica de alimentación mundial (Gray, 2007). La búsqueda de una alternativa renovable debe lograrse mediante el uso de materiales lignocelulósicos para producir etanol, debido a ser abundantes y relativamente baratos. Aunque los procesos son costosos en la actualidad, los avances en la biotecnología deben conllevar a una disminución sustancial del costo de conversión de estos materiales a etanol. La posibilidad de producir etanol de biomasa de bajo costo debe ser la clave para que el etanol sea competitivo al compararlo con la gasolina (DiPardo, 2003).

Por lo antes expuesto se plantea como ***problema científico:***

Es posible, mediante una metodología de aspectos que inciden en la eficiencia del proceso productivo, establecer indicadores de la eficiencia global de la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín.

Como ***hipótesis:***

La metodología de aspectos que inciden en la eficiencia del proceso productivo, permite establecer indicadores de la eficiencia global de la destilería Urbano Noris.

Objetivo general:

Evaluar una metodología de aspectos que inciden en la eficiencia del proceso productivo, para establecer indicadores de eficiencia global de la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el proceso utilizado para la producción de etanol en la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín.
- Determinar la eficiencia del proceso utilizado para la producción de etanol en la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín.

- Recomendar un plan de acciones para la producción de etanol en la destilería Urbano Noris de la provincia Holguín.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Producción de etanol

Desde hace varias décadas, el etanol está ocupando un papel protagónico en lo referente a fuentes renovables de energía. Países como los Estados Unidos y Brasil lideran la producción mundial con más del 70% entre ambos. En Norteamérica prácticamente todo el etanol producido es a través de maíz transgénico, en Brasil también se emplea, pero la materia prima fundamental es la caña de azúcar (Herrera, 2009).

En Cuba la totalidad del alcohol etílico producido es a través de sustancias sacarinas, ya sea jugo de caña de azúcar o miel final proveniente de la industria azucarera (De Armas *et al.*, 2021).

2. Fases de la producción de etanol

2.1. Fermentación

En ausencia de aceptor de electrones, muchos organismos efectúan reacciones redox balanceadas de algunos compuestos orgánicos, con liberación de energía. Este proceso se llama fermentación. Existen muchos tipos diferentes de fermentación, pero en procesos fermentativos solamente se efectúan una oxidación parcial de los átomos de carbono del compuesto orgánico y, por consiguiente, una pequeña cantidad de energía se libera. La oxidación en una fermentación esta acoplada a la reducción posterior de un compuesto orgánico generado a partir del catabolismo del sustrato inicial fermentable; así, no se requiere un aceptor de electrones suministrado exteriormente (Galarza, 2009). En la industria alcoholera se le llama fermentación a la conversión de azúcares en alcohol y dióxido de carbono mediante la acción de una levadura. Para ello se llevan a cabo dos etapas: fase aerobia y anaerobia.

2.2. Fermentación aerobia

El objetivo de esta etapa es lograr la propagación y desarrollo de la biomasa necesaria para garantizar óptimos rendimientos en la etapa de producción de alcohol, propiciando condiciones óptimas al medio de cultivo.

Condiciones del medio:

- Abundante aire.
- Adición de nutrientes ricos en fósforo y nitrógeno.
- Lograr un pH óptimo de 3.8-4.2 mediante la adición de ácido sulfúrico.
- Obtener un conteo celular superior a 150 millones de células por centímetro cúbico de batición.

2.3. Fermentación anaerobia o Fermentación alcohólica

Se puede definir a la fermentación alcohólica, como el proceso biológico más utilizado por el hombre mediante el cual un azúcar fermentable es transformado en alcohol etílico, el mismo debe durar el menor tiempo posible a fin de obtener un producto económicamente rentable. La fermentación es la parte más importante del proceso de elaboración de etanol y de la forma como se conduzca depende de que la transformación del azúcar en alcohol sea total; es decir el rendimiento de las materias primas utilizadas sean óptimos (Fonseca, 2012).

3. Tipos de fermentación alcohólica

Existen dos tipos de fermentación a nivel industrial: fermentación continua y fermentación discontinua.

Fermentación discontinua: Es un método clásico de cultivo discontinuo, en éste el fermentador es inoculado y alimentado con sustrato. El cultivo se lleva a cabo hasta que se agota el sustrato limitante o por acumulación de metabolitos tóxicos (Doménech, 2009).

Ventajas:

- Facilidad del control microbiológico, Ej. Limpieza y desinfección de los fermentadores.
- Flexibilidad del proceso.
- No requiere de estricto control de la temperatura, pH, nutrientes, etc.
- Bajo costo de operación, mantenimiento y amortización.

Desventajas:

- Necesidad de constante propagación de la levadura. Cultivadores, prefermentadores.
- Altos consumos de materias primas y nutrientes en la propagación. Fermentaciones muy largas (24-32 h)
- Bajas concentraciones de alcohol (6-8%)
- Rendimientos bajos.
- Baja productividad del sistema (1-2 L et/m³.h). Influyen los tiempos de carga, descarga y limpieza.

Fermentación continúa

Se proporciona un alimento continuo de medio fresco y extracción continua de medio fermentado, la fermentación es estable durante semanas y meses. Se cumple que las corrientes de entradas y salidas son iguales a lo largo del tiempo por lo que el volumen del tanque se mantiene constante (Doménech, 2009).

Ventajas:

- Alta Productividad del sistema (Mayor 5 L et/m³.h).
- No existe tiempos de carga, descarga y limpieza.
- Reducción de los costos de instalación. (Se reducen los fermentadores estacionario y menor número de fermentadores por aumento de volumen).
- Fácil control analítico y microbiológico del proceso.
- Fermentaciones muy rápidas (8-10 h).
- Altas concentraciones de alcohol (8-10%).
- Minimiza los consumos de materias primas y nutrientes en la propagación.
- Bajos costo de mantenimiento.
- Distribuir la materia prima en diferentes fermentadores permite mantener bajos niveles de azúcares y altos contenidos de alcohol lo que inhibe el crecimiento de bacterias.

Desventajas:

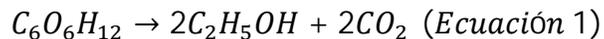
- El proceso no es flexible. Depende de la estabilidad del suministro y calidad de las materias primas. Cualquier inestabilidad varía el estado estacionario.

También influye el control estable de los parámetros de la fermentación, temperatura, pH, aireación, agitación, etc.

- Complejidad del control microbiológico. Control de contaminantes y existe degeneración del microorganismo.

3. Eficiencia fermentativa alcohólica

Se mide con referencia a la conocida ecuación de carácter estequiométrico conocida como Ecuación de Gay-Lussac. En ella se establece que un mol de hexosa representada por glucosa, se transforma en dos moles de etanol más dos moles de dióxido carbónico. Solamente tiene un carácter de patrón de referencia, pues la realidad de reacciones metabólicas es mucho más compleja. Las eficiencias están definidas por la relación porcentual entre la conversión o rendimiento realmente obtenidos en el proceso, contra el estequiométrico señalado por la ecuación 1 (Báez, 2005).



Que representan rendimientos de 51,1% (w/w) o 64,4% (v/w) de etanol con respecto a la glucosa. Otra forma usual de medir la eficiencia, es compararla contra los rendimientos obtenidos, que en históricas experiencias realizó el ilustre Louis Pasteur y que se referencia como "Coeficiente Pasteur". El valor de la eficiencia obtenida por él alcanza el 95% de la Gay-Lussac, y se considera como el valor máximo posible de alcanzar por una fermentación real. Por ello una fermentación que alcance un Coeficiente Pasteur de 100%, significa que se alcanzó el rendimiento real mayor posible. (48,5 w/w o 61,2 v/w) (Báez, 2005).

En todas las destilerías cubanas se utiliza la fermentación discontinua, logrando rendimientos históricos cercanos al 76 %, mientras que el rendimiento promedio a nivel internacional es del 86 %. Esto se debe fundamentalmente a la tecnología instalada en las destilerías cubanas y a la materia prima utilizada, en países latinoamericanos como Brasil y Venezuela se emplean mieles ricas en sacarosa y con bajos contenidos de cenizas además de jugos de caña de primera. Sin embargo, las mieles finales cubanas presentan un bajo contenido de azúcares fermentables y un alto contenido de impurezas (Doménech, 2009).

Destilación

Es una operación unitaria que permite separar los componentes de una solución, el que depende de la distribución de las sustancias entre las fases gaseosa y líquida y es aplicable a los casos donde todos los componentes se hayan presentes en ambas fases. En lugar de introducir una nueva sustancia a la mezcla, para lograr una segunda fase, como se hace en absorción o desorción gaseosa, la nueva fase se crea de la solución original por evaporación o por condensación (Treybal, 1984).

Tipos de destilación

Existen dos clases de destilación diferentes en principio: destilación simple y destilación fraccionada o rectificación según (Kasatkin, 1986).

- *Destilación simple:* es la operación de evaporación parcial efectuada una sola vez de la mezcla líquida y la condensación de los vapores formados. Esta es aplicable sólo para separar mezclas, cuya relación entre las volatilidades de sus componentes sea considerable.
- *Destilación fraccionada:* La rectificación es la operación de destilación múltiple de evaporación parcial de los líquidos y la condensación de sus vapores.

Esta operación se ejecuta por el contacto de los flujos de vapor y de líquido que poseen diferentes temperaturas y se realiza fundamentalmente en la columna de fraccionamiento. En cada contacto del líquido se evapora principalmente los componentes con menor temperatura de ebullición, con el cual se enriquecen los vapores y de ellos se condensan esencialmente los componentes con alta temperatura de ebullición, que pasan al líquido.

Columna de destilación fraccionada

En principio, una columna de destilación fraccionada proporciona una gran superficie para el intercambio de calor, en las condiciones de equilibrio, entre el vapor ascendente y el condensado descendente. Esto posibilita una serie

completa de evaporaciones y condensaciones parciales a lo largo de la columna (Kasatkin, 1986).

Tipos de columnas de destilación

Las columnas de destilación pueden ser de platos o bandejas o de material de relleno (Brow, 1969):

- *Columnas de platos:* éstas están formadas por bandejas donde se acumula una determinada cantidad del líquido descendente el cual es atravesado por el vapor ascendente, dando lugar a la transferencia de masa.
- *Columnas de relleno:* las torres rellenas consisten en un cilindro vertical, cargado con un material de relleno adecuado. El líquido fluye por el material de relleno, en láminas delgadas, y ofrece una gran superficie líquida para el contacto con los gases que ascienden por la torre.

Tipos de platos según (Brow, 1969):

- *Platillos con campanas o con sombreretes de burbujeo:* está construido con una placa que posee un cierto número de orificios, en los cuales están montados los tubos de subida o chimeneas, a través de las cuales pueden ascender los vapores procedentes de los platillos inferiores. Cada una de estas salidas de vapores está cubierta por una campana o sombrerete, la cual va sujeta al tubo de subida.
- *Platos perforados o cribas:* son aquellos donde el conjunto de sombreretes está reemplazado por unos pequeños orificios practicados en la placa, de dimensiones variables que van desde 4.7-12.5 mm. El paso de los vapores por los orificios impide que el líquido se pueda escurrir por los mismos

Tipos de rellenos

Características más importantes del relleno. El relleno (y las partículas que lo conforman) constituyen el elemento de mayor importancia en las torres de relleno. Para que el relleno funcione con la debida eficacia debe reunir la mayor parte de los requisitos siguientes:

- Poseer gran superficie por unidad de volumen.

- Distribuir proporcionalmente el líquido en todo el relleno.
- Ejercer una baja resistencia hidráulica al flujo de gas.
- Poseer buenas propiedades para ser mojado por el líquido.
- Tener poco peso específico.
- Poseer gran resistencia mecánica y química.
- Ser barato.

No existe un relleno que pueda cumplir todos estos requerimientos, ya que, por ejemplo, el aumento de la superficie específica trae consigo un incremento de la resistencia hidráulica. En la industria se emplean rellenos con partículas diferentes por su forma y dimensiones, que de alguna manera satisfacen las exigencias más importantes tales como: anillos Raschig; anillos con tabiques (cruceas); rejillas; anillos Pall; espirales; monturas Berl; monturas Intalox; capas múltiples de láminas plegadas con agujeros; bloques con orificio y ranuras; etc. Esos rellenos se fabrican de porcelana, cerámica, acero, plásticos, madera, etc (Puyáns, 2002).

Diversos tipos y formas de empaques han sido desarrollados para satisfacer estos requerimientos los cuales generalmente son divididos en tres clases.

- Empaques vaciados o al azar: Estas son piezas discretas de empaques de una forma geométrica específica las cuales son vaciadas o colocadas al azar en la columna.
- Empaques estructurados o arreglados: Estos se hacen en capas de malla de alambre u hojas corrugadas. Secciones o partes de estos empaques son colocados dentro de la columna.
- Parrillas: Estas también son colocadas sistemáticamente dentro de la columna.

Plato de alimentación

El plato de alimentación se basa en un perfil preliminar de temperatura de la torre con una eficiencia de 75% para los platos de rectificación y una eficiencia de 65% para los platos de separación. Además, se tiene en cuenta el consumo de energía. Si toda la alimentación es líquida la corriente se introducirá por encima de la bandeja de alimentación de manera que la misma entre junto con el líquido de la

bandeja superior. Recíprocamente, si toda la alimentación es vapor, se introducirá por debajo de la bandeja de alimentación. Si el alimentado fuese una mezcla líquido vapor, en principio debería separarse ésta fuera de la columna, la parte líquida introducirse por arriba y la parte de vapor por debajo de la bandeja de alimentación. El plato de alimentación puede ubicarse en cualquier posición de la columna en dependencia de las características del alimentado, condiciones de trabajo, etc. La sección de la torre ubicada por encima del alimentado se le conoce como sección de enriquecimiento o rectificadora y a la parte inferior como zona de agotamiento o destiladora (Peacock, 2014).

Factores que influyen en la eficacia de los platos

Aunque se han realizado numerosos estudios sobre la eficacia de los platos, generalmente es preciso estimarla empíricamente. Sin embargo, se dispone de suficientes datos para conocer los principales factores que intervienen, y que constituyen la base para la estimación de eficacias en los tipos convencionales de columnas que operan con mezclas de sustancias ordinarias.

La condición más importante para obtener eficacias satisfactorias es que los platos operen adecuadamente. A este respecto es fundamental que exista un íntimo contacto entre el líquido y el vapor. Cualquier operación defectuosa de la columna, tal como excesiva formación de espuma o arrastre, mala distribución del vapor, formación de cortocircuitos, goteo o vaciamiento del líquido, conllevan a una disminución de la eficacia de los platos. La eficacia de un plato depende de la transferencia de materia entre el líquido y el vapor.

En un plato perforado la transferencia de materia tiene lugar en tres zonas sucesivas: en el punto de formación de burbujas, durante el contacto entre el líquido y el vapor en el plato, y durante el contacto que tiene lugar entre el vapor y la niebla situada por encima de la superficie del líquido. Durante la formación de burbujas la transferencia de materia es rápida. La segunda etapa, correspondiente a la transferencia de materia entre el vapor y el líquido contenido en el plato, es la que ha recibido mayor atención, tanto del punto de vista teórico como experimental.

Se ha encontrado que se cumple la teoría de la doble resistencia para la transferencia de materia y que cada localidad de un plato actúa de una forma muy parecida a un pequeño absorbedor. La velocidad global de transferencia en esta zona depende de la importancia relativa de las resistencias de la fase líquida y la fase de vapor, que, a su vez, dependen principalmente de la pendiente de la curva de equilibrio (McCabe y Smith. 1981).

El valor del rendimiento medio de los platos (E_o) que se introduce para tomar en consideración las condiciones reales del intercambio de masa en los platos depende de muchas magnitudes variables (estructura y dimensiones del plato, factores hidrodinámicos, propiedades físico-químicas del vapor y el líquido). Los valores de E_o se determinan a base de datos experimentales y en la mayoría de los casos se encuentran entre los límites de 0,3 a 0,8. En los platos con la corriente cruzada de vapor y líquido por el plato, al aumentar la longitud de recorrido del líquido por el plato, es decir, el tiempo de permanencia del líquido en el plato, mejora el intercambio de masa y crece la magnitud del rendimiento medio E_o (Pavlov *et al.*, 1981).

Transferencia de calor

La transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Se ha descrito como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores tratados usualmente de manera independiente (Kern, 1988).

Comúnmente para esta operación unitaria se utilizan equipos de intercambio entre los que se destacan los intercambiadores de calor de tubos y coraza. Estos están compuestos por tubos cilíndricos, montados dentro de una carcasa también cilíndrica, con el eje de los tubos paralelos al eje de la carcasa. Un fluido circula por dentro de los tubos, y el otro por el exterior (fluido del lado de la carcasa) (Kern, 1988).

4. Sistemas de destilación y rectificación de alcoholes instalados en Cuba

En Cuba existen alrededor de una docena de destilerías, generalmente están vinculadas a centrales azucareros, que por su cercanía en tiempo de zafra puede suministrarle vapor, ahorrando así combustible. Estas presentan una tecnología muy sencilla, carecen de sistemas automáticos, la fermentación es discontinua y son relativamente de pequeña capacidad, alrededor de 500 hL/día. En países grandes productores como Brasil, las destilerías son completamente automáticas, presentan fermentaciones continuas con porcentos alcohólicos superiores al 8%, y cuentan con capacidades de producción de 5000-8000 hL/día (Báez, 2012).

Conformación de los sistemas existentes

1. *Sistema Básico para Alcohol Técnico*: Conformado por Destiladora y Rectificadora.
 - Variante a) con Rectificadora sin sección de agotamiento, ni calefacción propia.
 - Variante b) con Rectificadora con sección de agotamiento y con calefacción propia.
2. *Sistema de Alcohol Fino*: Conformado por el anterior, más una columna Repasadora
3. *Sistema de Alcohol Deshidratado*: Conformado por Rectificación más Columna Deshidratadora y Columna Recuperadora del Deshidratante.
4. *Sistema Alcohol Superfino*: Conformado por sistema de alcohol técnico al que se añaden, Hidroselectora (Lavadora), Rectificatriz Desmetilizadora o Purificadora y Concentradora o Recuperadora de Cabezas y Colas.
5. *Sistema Alcohol Superfino*: Conformado con Columnas a multi-efecto sin Concentradora o Recuperadora de Cabezas y Colas.

El Sistema Básico de Destilación instalado en destilerías cubanas, es por su simplicidad de una limitada capacidad en purificación o rectificación de los alcoholes. Su carencia de columnas depuradoras, obliga a que las cabezas se extraigan solamente a condiciones de alto grado alcohólico, y por un solo sitio, al igual sus colas se ven muy influenciadas por el grado a que se carga la columna, desplazándose su concentración en los platos en función del grado de carga de la

columna rectificadora. Por ello de requerirse un cierto grado de rectificación o limitación de congéneres volátiles, será preciso destilar a mayor grado que el que se establece para el llamado alcohol flema. Debe recordarse que la designación de flema (phlegma), corresponde a un destilado bruto, clasificándose éste únicamente por su grado, en alto o bajo.

Si se desea un destilado con ciertas características de composición en sus congéneres volátiles, no puede pensarse en destilar un alcohol flema típico, tal como se hace normalmente, en que solo importa el grado. Será requerido trabajar a mayor reflujo, para facilitar la concentración de las cabezas y las colas, para así extraerlas de manera efectiva. Debe razonarse que esto conlleva un incremento en el gasto energético, así como implícitamente una disminución de la eficiencia y el rendimiento. La destilería caso de estudio cuenta con un Sistema Básico para Alcohol Técnico más una columna repasadora para la obtención de alcohol fino.

Control de los parámetros de calidad del etanol durante la destilación

Durante la destilación alcohólica resulta necesario controlar estrictamente los parámetros de calidad, tales como:

Alcoholes Superiores: Entendidos como la familia amílica y butílica, dado que así lo representa el patrón analítico que se utiliza. Depende de las extracciones en los platos adecuados. Siempre están asociados a los ésteres. Tienden a acumularse entre 45-65 °GL. El alcohol propílico raro en nuestras fermentaciones se extrae de la zona de 80-90 °GL.

Ésteres: Son por naturaleza los compuestos de mayor dificultad de control, pues la columna se comporta como un “esterificador” o sea un generador de ellos. Los muy ligeros se extraen por las cabezas, los pesados con el aceite de fusel o amílicos y los medios por una extracción independiente superior.

Acidez: Muy dependiente de la fermentación, debe descartarse primero ella. Siempre existe en equilibrio con los ésteres, por ello depende de su extracción. En caso extremo se puede aplicar una neutralización química con soda o sosa, pero en forma muy precisa.

Aldehídos: Son los compuestos más reactivos, pero los más fáciles de eliminar pues la mayoría se eliminan por las cabezas, dada su alta volatilidad. Son fácilmente oxidables.

Tiempo de Permanganato: Refleja la "oxidabilidad" de los compuestos presentes. Depende de la extracción de cabezas y el grado de limpieza química de la superficie externa de los condensadores y de la propia columna. Muy ligado a aldehídos, ésteres ligeros y compuestos nitrogenados o sulfurados.

Amoniaco y Sulfuros: Se originan por exceso de nutrientes o mala calidad de la urea, contaminaciones bacterianas y/o levaduras autolisadas, o mala calidad del agua. Son muy reactivos, formando productos cupro-amoniacales o sulfuros de níquel y cromo, con los metales de la columna. o forman mercaptanos o thioles con los alcoholes, de fuerte, desagradable y típico olor, o aminas.

5. Empleo de jugos y melazas de caña en la producción de alcohol

La principal materia prima para la producción de etanol es la caña de azúcar, ya sea en forma de jugo de caña o como melazas. Es posible obtener cerca de 70 L de etanol/ton de caña, y si se emplean melazas, se obtienen alrededor de 250 L de alcohol (en dependencia de la eficiencia de fermentación) y unos 100 kg de azúcar. En lo concerniente al costo de producción, se ha estimado un rendimiento de 219 L de etanol a partir de 1 ton de melazas con un contenido de azúcares de 46%.

Para definir las condiciones de mantenimiento y propagación de la cepa en el laboratorio, la evaluación industrial de las mismas, así como de los sistemas adecuados de fermentación para nuestras condiciones, se estudiaron diferentes factores que influyen en la eficiencia, entre ellos: balance de nutrientes, utilización de bactericidas para el control de contaminaciones, control de la temperatura, etc. Las fuentes de carbono evaluadas fueron: jugo de los filtros de cachaza (JF), jugos diluidos (JD), melazas y miel B (sirope remanente de la cristalización de segunda masa cocida).

Todas son obtenidas del proceso de fabricación de azúcar de la propia empresa, con excepción de la miel final ya que las fuentes de azúcares suministradas por el ingenio son insuficientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el año 2023 en la Destilería Urbano Noris ubicada en el municipio de igual nombre en la provincia Holguín. Por su objeto productivo que es la elaboración de alcoholes derivados de la industria cañera se encuentra situada en los alrededores del Complejo Agroindustrial “Urbano Noris” perteneciente al Organismo de Dirección Superior de Estado (OSDE) AZCUBA.

La destilería tiene una capacidad productiva de 500 HL a 100°GL/día, de ellos 1600 m³ se pueden obtener de ocho fermentadores que la componen y cuatro columnas de gases. Al realizar el estudio la planta tenía una eficiencia en la fermentación de 75 HF como plan y de real 73.38 HF, eficiencia en la destilación de un plan de 90 HF un real de 95.66 HF, la eficiencia en general es de un 67.5 HF como plan y real 71.74 HF. De estas observaciones el cumplimiento del plan de producción de alcohol es de un 43.65 % con un tiempo perdido de 33.3 %.

Para la realización del estudio, se procedió por el Manual de producción de alcohol y levadura en destilería elaborado por el Instituto de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar en Cuba (ICIDCA, 2022) el cual recoge los siguientes elementos para garantizar una producción eficiente de alcohol en la destilería se presenta en la Tabla 1.

Para la realización del estudio, se procedió a aplicar la guía de eficiencia que cuenta con 70 aspectos, de ellos 8 (señalados en negritas) que son invalidantes para el cumplimiento de la guía aunque el total supere el 85% de aprobación. Esta guía fue elaborada de conjunto por especialistas en producción de alcoholes del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el Grupo Alcohol de Azcuba auxiliados fundamentalmente por el Manual de Producción de Alcohol y Levadura en Destilerías elaborado por el Instituto ICIDCA y el Grupo Alcohol de Azcuba revisado y actualizado en el 2022.

Tabla 1. Elementos para garantizar una producción eficiente de alcohol en la destilería.

No	Área de recepción y entrega de miel	SÍ	NO	NP	Observaciones
----	-------------------------------------	----	----	----	---------------

1	Se controla diariamente la cantidad de miel entregada a la destilería.				
2	Están aforados debidamente los tanques de almacenaje de miel				
3	Los pneumocator u otro equipo de medición de miel están debidamente calibrados y bien instalados.				
4	Tienen flotantes con reglas graduadas para el control volumétrico de la miel.				
5	Se taran y retaran los tanques de ferrocarril que suministran la miel				
6	Existe un adecuado control sobre el peso de la miel recibida por ferrocarril.				
7	Se controla adecuadamente para que no queden fondajes en los tanques de miel descargadas.				
8	El balance de miel de lo recibido entregado a la fábrica y la existencia no puede dar diferencias mayores de 1%.				
9	Cumple el índice Kg miel/ HL alcohol a 100°gl (últimos 10 días).				
Área de Fermentación					
10	Control de la temperatura de la miel				
11	Se controla la Calidad de la urea insumida como nutriente y el resto sales				
12	Cumplimiento del índice de consumo de				

	las sales en el período evaluado y hasta fecha.				
13	Cantidad y calidad de la levadura utilizada				
14	Cumplimiento del índice de consumo del ácido sulfúrico.				
15	Se limpian y desinfectan los fermentadores en cada ciclo.				
*					
16	Utilizan algún producto para la desinfección (CIP)				
17	Se utilizan antibióticos en el proceso ¿Qué tipo?				
18	Es eficiente el trabajo de los disolutores.				
19	Sistema de limpieza y frecuencia con que se aplica				
20	Cumplimiento de Brix de carga orientado (revisar valores de los últimos 10 días).				
21	Estado de los prefermentadores su limpieza.				
22	Método de preparación de la levadura utilizado (conteo celular, viabilidad)				
23	Evaluar el esquema de fermentación utilizado.				
24	Cumplimiento del % de alcohólico de acuerdo a la calidad de la miel.				
25	Cumplimiento de la eficiencia en				

*	fermentación (evaluar los últimos 10 días)				
26	Cumplimiento del esquema de control de la sala de fermentación.				
27	Control de la temperatura de fermentación.				
28	Evaluar eficiencia de los sistemas de enfriamiento en fermentadores.				
29	Estado técnico de los fermentadores (material de construcción).				
30	Separación de la crema de levadura. Evaluar su eficiencia.				
31	Cumplimiento del plan de producción de crema de levadura.				
32	Control de la calidad de la crema (revisar últimos 10 días)				
Destilación					
33	Control del estado técnico de las columnas.				
34	Revisar que no haya fayas de vapor, vinaza o alcoholes.				
*					
35	Hermeticidad y seguridad que impidan la sustracción de alcohol de los distintos surtidos.				
36	Existencia y uso adecuado de la instrumentación para la operación de la				

	columna.				
37	Cumplimiento de los indicadores de calidad de los distintos surtidos producidos.				
38	Control de la temperatura del alcohol.				
39	Control de la temperatura del agua de enfriamiento y su calidad.				
40	Cumple con el grado alcohólico normado según surtido que produce.				
41	Cumple con el tiempo de permanganato según surtido.				
42	Cumplen la eficiencia en Destilación (evaluar últimos 10 días)				
43	Cumplen con la eficiencia General de				
*	la planta (evaluar último 10 días)				
44	Cumple el índice de Litros de Vinaza por litro de Alcohol (últimos 10 días)				
45	Cumple eficientemente la extracción de oleo fusel.				
46	Comercializan el óleo fusel ó que destino se le da.				
47	Tiene control de temperatura del recuperador de calor de la vinaza.				
48	Utilizan concentrador de vinaza con resultados eficiente.				
49	Cumple con el estado higiénico- sanitario				

	de la planta en general.				
Laboratorio y Calidad					
50	Cumplen el esquema de control analítico establecido.				
51 *	Utiliza el programa de Computación autorizado para el control de la contabilidad de la producción.				
52	Tiene método automatizado para reportar la producción de alcohol.				
53	Es confiable el método usado para reportar la producción por volumen.				
54	Posee medios de medición para reportar el consumo de miel física.				
55	Tienen impreso los principales indicadores de eficiencia para el control acumulado.				
56	Tienen establecidos y cumplen el procedimiento para devolver al proceso los sobrantes de las muestras utilizadas en el Laboratorio				
57	Cumplen los alcoholes los tiempos de permanganato según surtido.				
58	Cumplen los alcoholes el grado alcohólico de acuerdo al surtido.				
59	Se realizan los alcoholes superiores a los surtidos que lo requieren.				

60	Tienen actualizado el sistema contraincendios del área de Almacenaje de Alcohol (extintores, hidrantes, mangueras, etc.)			
61	Los tanques de almacenaje tienen el aforo actualizado por la OTN.			
62	Tienen los tanques de alcohol certificado de su estado técnico para el almacenaje.			
63	Todos los tanques tienen su escala y tuberías de nivel en perfecto estado técnico.			
64	Tienen todas las tuberías y bridas de las instalaciones de Alcohol con candado o sellos.			
65	Tienen actualizadas todas las tarjetas del control de inventario de cada tanque.			
66 *	No tener diferencias significativas entre el Inventario Físico y las tarjetas de cada surtido.			
67	Tener metros de flujo u otro medio automático para el despacho de los diferentes surtidos.			
68	Tener aforadas las varas o cintas que se usan para medir la existencia de los tanques.			
69 *	Tener funcionando y con las evidencias adecuadas del funcionamiento de las comisiones de			

	entrega e inventario				
70	Tener actualizada la verificación de la plataforma para el despacho por ferrocarril				

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la destilería objeto de estudio

Se trata de una destilería construida y puesta en marcha en 1987. Inicialmente con un módulo típico de 500 hl/d. para la obtención de alcoholes flema y rectificadas. Años después se le adicionó una columna de cobre desmontada de la extinta destilería "Antonio Maceo" con el objetivo de utilizarla como "lavadora" y así poder obtener alcohol fino para la producción de rones en una planta anexa.

Más adelante se le instaló una pequeña columna también de cobre con baja capacidad de producción que tomaba vapores alcohólicos procedentes de la destiladora y los rectificaba para obtener aguardiente a 75^o v/v también con destino a la fábrica de ron.

Luego de un dilatado proceso inversionista está casi concluida un aumento de capacidad productiva con la adición de un módulo de 300 hl/d con el correspondiente aumento de la capacidad de fermentación para 800 hl/d, ahora toda con fermentadores de acero inoxidable.

Dada la situación actual de la agroindustria, se trabaja a partir de los equipos del módulo previsto en la inversión, en la reconversión del aumento de capacidad previsto al aumento solo de la producción de aguardiente en calidad y cantidad y la instalación de un sistema de rectificación adicional de los alcoholes por hidroselección para obtener alcoholes finos de alta calidad que permitirán junto al aguardiente elaborar rones de calidad exportable.

La implementación de tecnologías de producción de etanol a partir de jugos de caña, introduce nuevas perspectivas en la diversificación de las empresas azucareras por la flexibilidad tecnológica que presupone y adicionalmente por el impacto en la eficiencia global del proceso (Otero *et al.*, 2005). La fermentación de jugos de caña es un proceso establecido en las destilerías de Brasil desde hace años como parte de su programa nacional de alcohol.

Sin embargo, en nuestro país solamente se han realizado pruebas a escala de laboratorio y en condiciones lejanas a las de una destilería típica. El esquema

previsto para la realización de la prueba industrial de fermentación de jugos en la destilería de la empresa azucarera “Heriberto Duquesne”, sita en el municipio de Remedios en la provincia de Villa Clara. El jugo de la desmenuzadora (primer molino) se destina íntegramente a la producción de azúcar, en tanto los jugos de los molinos 2, 3 y 4, mezclados con los jugos de los filtros de cachaza se emplearán en la fermentación alcohólica. Es de destacar, que en todos los casos, la levadura en los pre-fermentadores fue propagada con miel final exclusivamente (Saura *et al.*, 2009).

Antes de enfrentar la fermentación alcohólica es preciso estudiar las potencialidades de propagación de las cepas candidatas a su introducción en la fábrica. La etapa de propagación reviste vital importancia pues de ella depende el estado fisiológico del microorganismo y las posibilidades de una fermentación eficiente, en un proceso no aséptico. La tasa máxima de crecimiento (μ_{max}) de una población microbiana en un medio de composición dada, caracteriza a esa población desde el punto de vista cinético (Saura *et al.*, 2009).

Certificación de la eficiencia en las plantas de alcohol de la destilería Urbano Noris

- Capacidad de producción: 500 HL alc.100 v/v por día
- Numero de fermentadores (capacidad total):8 (1600 HL)
- Numero de columnas en uso: 3

	PLAN	REAL
• Eficiencia en fermentación HF (%)	75.00	73.38
• Eficiencia en destilación HF (%)	95.00	95.66
• Eficiencia General HF (%)	71.25	71.24
• % cumplimiento del plan HF	100.00	43.65
• % tiempo perdido HF	15.00	33.30

Evaluación de la metodología para la evaluación de indicadores en la eficiencia de la destilería Urbano Noris.

1. Área de recepción y entrega de miel

- Se controla diariamente la cantidad de miel entregada a la destilería.
- Están aforados debidamente los tanques de almacenaje de miel.
- Los pneumocator u otro equipo de medición de miel están debidamente calibrados y bien instalados.
- Tienen flotantes con reglas graduadas para el control volumétrico de la miel.
- Se taran y retaran los tanques de ferrocarril que suministran la miel.
- Se controla adecuadamente para que no queden fondajes en los tanques de miel descargadas.
- El balance de miel de lo recibido entregado a la fábrica y la existencia no puede dar diferencias mayores de 1%.
- Cumple 360 kg miel/ HL alcohol a 100°gl (últimos 10 días).

2. Área de Fermentación

- Se controla la temperatura de la miel.
- Se cumple el índice de consumo de las sales.
- Utilizan levadura seca activa.
- Utilizan CIP para la desinfección.
- Se limpian y desinfectan los fermentadores en cada ciclo.
- Es eficiente el trabajo de los disolutores.
- Se cumple el Brix de carga de los últimos 10 días.
- Buen estado de los prefermentadores.
- Se realiza el conteo celular y viabilidad de la levadura.
- Se cumple el % de alcohólico de acuerdo a la calidad de la miel.
- Se cumple con la eficiencia en fermentación de los últimos 10 días.
- Se cumple el esquema de control de la sala de fermentación.
- Se controla la temperatura de fermentación.
- Los fermentadores son de acero inoxidable y se encuentran en buen estado.
- Se separa por decantación la crema de levadura.
- Se realiza el control de la calidad de la crema los últimos 10 días.

3. Destilación

- Control del estado técnico de las columnas.
- Cumple con el grado alcohólico normado según surtido que produce.
- Revisar que no haya fayas de vapor, vinaza o alcoholes.
- Hermeticidad y seguridad que impidan la sustracción de alcohol de los distintos surtidos.
- Control de la temperatura del alcohol.
- Cumplimiento de los indicadores de calidad de los distintos surtidos producidos.
- Control de la temperatura del agua de enfriamiento y su calidad.
- Existencia y uso adecuado de la instrumentación para la operación de la columna. Cumple con el tiempo de permanganato según surtido.
- Cumplen la eficiencia en Destilación (evaluar últimos 10 días)
- Cumplen con la eficiencia General de la planta (evaluar último 10 días).
- Cumple eficientemente la extracción de oleo fusel.
- Comercializan el óleo fusel ó que destino se le da. Se recupera para dosificarlo en el F-5.
- Tiene control de temperatura del recuperador de calor de la vinaza.
- Cumple con el estado higiénico- sanitario de la planta en general.

4. Laboratorio y Calidad

- Cumplen el esquema de control analítico establecido.
- Utiliza el programa de Computación autorizado para el control de la contabilidad de la producción.
- Tienen impreso los principales indicadores de eficiencia para el control acumulado. Es confiable el método usado para reportar la producción por volumen.
- Posee medios de medición para reportar el consumo de miel física.
- Tienen establecidos y cumplen el procedimiento para devolver al proceso los sobrantes de las muestras utilizadas en el Laboratorio.
- Cumplen los alcoholes los tiempos de permanganato según surtido.
- Se realizan los alcoholes superiores a los surtidos que lo requieren.

- Cumplen los alcoholes el grado alcohólico de acuerdo al surtido.
- Tienen actualizado el sistema contraincendios del área de Almacenaje de Alcohol (extintores, hidrantes, mangueras, etc.)
- Los tanques de almacenaje tienen el aforo actualizado por la OTN.
- Todos los tanques tienen su escala y tuberías de nivel en perfecto estado técnico.
- Tienen todas las tuberías y bridas de las instalaciones de Alcohol con candado o sellos.
- Tienen los tanques de alcohol certificado de su estado técnico para el almacenaje. Tienen actualizadas todas las tarjetas del control de inventario de cada tanque.
- No tienen diferencias significativas entre el Inventario Físico y las tarjetas de cada surtido.
- Tienen aforadas las varas o cintas que se usan para medir la existencia de los tanques.
- Tienen funcionando y con las evidencias adecuadas del funcionamiento de las comisiones de entrega e inventario.
- Tienen actualizada la verificación de la plataforma para el despacho por ferrocarril.

Aspectos que se incumplen de la metodología evaluada

- Se controla la Calidad de la urea insumida como nutriente y el resto sales. No cuentan con digestor.
- Cumplimiento del índice de consumo del ácido sulfúrico. Real 0.61
- No se utilizan antibióticos en el proceso.
- Cumplimiento del plan de producción de crema de levadura. No se cumple en ventas por falta de extracción
- Evaluar eficiencia de los sistemas de enfriamiento en fermentadores. Se activarán cuando concluya la inversión.
- Cumple el índice de Litros de Vinaza por litro de Alcohol (últimos 10 días) No se mide flujo de vinazas.

- Utilizan concentrador de vinaza con resultados eficiente.
- Tiene método automatizado para reportar la producción de alcohol.
- Tener metros de flujo u otro medio automático para el despacho de los diferentes surtidos.

Precisiones y recomendaciones

- Lograr poner en marcha el equipo Kjeldahl con que cuentan y gestionar los reactivos necesarios para lograr realizar los análisis de determinación de nitrógeno en insumos y además realizar proteína bruta a crema de levadura y piensos.
- Los índices de consumo de sales nutrientes y ácido sulfúrico se encuentran en ocasiones ligeramente por encima de la norma, provocado por los bajos índices de aprovechamiento de la capacidad productiva de la planta debido a la falta de materias primas y fuel oíl en la presente campaña.
- La levadura seca activa con que cuentan en la actualidad (Marca Quimistarter) está vencida y se presenta en formatos de mucha capacidad (50 kg) que una vez abiertos se acelera su deterioro. Se requiere que la empresa suministradora provea este producto en formatos más pequeños (no mayor de 3 kg) y un suministro oportuno que impida su vencimiento.
- Aunque la inversión dilatada en el tiempo que llevaría esta destilería a un aumento de capacidad y a la vez modernización, incluía un sistema CIP totalmente automatizado, por razones de falta de financiamiento y proveedores, este no se ejecutó, el sistema de limpieza se efectúa después de cada ciclo con agua, vapor y formol, este último se sugiere alternarlo decenalmente con una solución de hipoclorito de calcio
- No se utilizan por falta de suministro antibióticos en el proceso. Sería útil disponer de ellos para poder controlar posibles infecciones fundamentalmente de lactobacilos, los más difíciles de controlar por otros medios y teniendo en cuenta además que las dosis requeridas se miden en ppm.

- Para el control de los azúcares en proceso se utiliza con mucha efectividad un flujómetro másico de melazas que elimina el uso del no muy fiable "Brix de carga" por areómetros.
- Concluir la parte de la inversión referida al sistema de enfriamiento de la fermentación, en cuanto a la acometida eléctrica y puesta a punto de las torres de enfriamiento, conociendo el gran impacto en eficiencia que esto tendría para la planta.
- Todo el sistema de fermentación de la planta es de acero inoxidable, pero los fermentadores han sido recuperados de dos plantas de Torula desactivadas (Mella y Guatemala). Por diseño original, estos equipos contaban con una "camisa interior" que al ser adaptados para su nuevo uso se le retiraron partes que provocaron "piteras" en su cuerpo interior donde provoca que ocasionalmente se queden residuos de fermentaciones anteriores lo que contribuye a la aparición de infecciones. Es un trabajo arduo y costoso en tema de uso de plasma pero es necesario buscarle una solución viable.
- Al no contarse ya, con las separadoras centrifugas de la inversión de la planta de recuperación de levadura, por deterioro en el tiempo, la separación se realiza por decantación de la crema, "sifoneando" de un tanque espesador, obviamente con baja eficiencia comparada con una separación con máquinas centrifugas. De ser financieramente posible, sería útil recuperar este sistema. De la misma forma la calidad de la crema (lavado y concentración) depende del sistema de separación empleado.
- No existe caudalímetro para medir el flujo de vinazas y evaluar el índice por litro de alcohol producido. Dada la alta agresividad de estas, consideramos sería más útil y menos costoso medir el caudal de agua de proceso que entra a la fábrica con un flujómetro para agua.
- Aunque la extracción de fusel oil es eficiente, no se le da un destino útil ni comercializable. De no tener capacidad el país para ser insumido por otra industria, recomendamos considerar con Cupet, su adición al alcohol F-5 donde serviría además como agente desnaturizante.

- Concluir el sistema de recuperación de calor de las vinazas con doble intercambiador, ya muy avanzado su montaje ya que representa una eficiente solución en la disminución del consumo energético.
- No cuentan con concentrador de vinazas. Consideramos que si bien es útil, es muy costoso y la solución del fertirriego de estas es factible en las áreas cañeras de que se dispone.
- No cuentan con método automatizado para la reportar la producción de alcohol. Deben realizarse las acciones correspondientes para adquirirlo.
- De manera general el sistema contraincendios de la destilería está por debajo de los requerimientos técnicos exigidos por la APCI, por lo que deben ser gestionados los recursos para su completamiento. Se anexa listado de recursos conciliado con la agencia rectora de la actividad.
- Adquirir y montar flujómetros automáticos según volúmenes a despachar para los diferentes surtidos.
- Aunque la base energética no está contemplada en la guía, dada su importancia es necesario señalar que en la actualidad cuenta con una caldera de fuel oíl de 10 t /h, ya lejos de su capacidad de diseño por deterioro de sus partes. Se ejecuta la inversión muy necesaria de una caldera de 25 t/h (sobre diseñada en capacidad, pero era la opción disponible) que al concluirse podrá dar respuesta a las nuevas necesidades energéticas de la planta con las reconversiones previstas. Sería útil el análisis de la incorporación de un turbogenerador de unos 1.5 MW al sistema para el aprovechamiento total energético y autoabastecimiento eléctrico de la destilería. Es necesario acondicionar según normas el aislamiento térmico de la conductora de vapor a la planta.
- La destilería cuenta además con una planta de tratamiento de agua por suaviamiento (solo que por diseño no cuenta con reactor) para el abastecimiento de agua a la base energética y cuenta además otra planta de tratamiento de agua por osmosis inversa (no confundir con la pequeña planta ya mencionada para la fábrica de ron) de 40m³/h que si bien está

concluida no se ha activado por falta de insumos. Sería de gran utilidad para la destilería ponerla en servicio.

- Por último mencionar que la destilería contó en sus primeros momentos con una planta de recuperación de dióxido de carbono procedente de la fermentación que dejó de funcionar por deterioro de sus partes. Los fermentadores ya mencionados están tapados lo que permite la recuperación del CO₂. Hoy se mantiene la nave, y un compresor del gas nuevo aun sin uso. Para su puesta en marcha se requeriría básicamente la reposición del lavador de gas, el globo receptor, la batería de purificación, la máquina de refrigeración y revisar el estado de los tanques de almacenamiento así como recuperar el sistema de despacho. De disponerse de financiamiento por alguna vía y dada la demanda de este producto, su puesta en marcha permitiría aumentar la diversificación de la UEB.

CONCLUSIONES

En los parámetros de producción y eficiencia que exhibe la Destilería en el momento de estudio, no cumple su plan de producción ni el tiempo perdido establecido, sin embargo esto no es consecuencia de una baja eficiencia toda vez que la eficiencia global si se cumple.

Las principales causas de no cumplirse el plan de producción se debe al alto tiempo perdido cuyas causas fundamentales son la falta de fuel oíl para la generación de vapor e interrupciones de energía eléctrica por la contingencia energética que enfrenta el país.

La evaluación de la metodología se cumple con los 8 aspectos invalidantes y obtiene cualitativamente 92.3 %, por encima del 85% que se considera el límite inferior para ser evaluada como satisfactoria, por lo que se considera como eficaz el método evaluativo como indicador de la eficiencia de una destilería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Báez, R.E. 2005. Apuntes acerca de los jugos de caña para su uso en la fermentación alcohólica.
- Báez, R.E. 2012. Sistemas de destilación y rectificación de alcoholes. Instituto de Investigaciones de Derivados de la Industria Azucarera, La Habana, Cuba.
- Brown, G.G. 1969. Operaciones básicas de la Ingeniería Química. Primera Edición Cubana ed. Vol. II.
- Campo, Ricardo., Abril, Alejandro, y Ramil, Marlen. 2020. Potencial de las variedades cubanas de caña energética para la producción de etanol celulósico. *Revista ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 54(1): 1-11.
- De Armas Martínez, A. C., González Suárez, E., Kafarov, V. V., Zumalacarregui de Cardenas, L., Oquendo Ferrer, H., y Ramos Miranda, F. 2021. Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 565-573.
- DiPardo, J. 2003. Outlook for biomass ethanol production and demand, Forecasts. diciembre. 2003.
- Doménech, F.L. 2009. Aspectos tecnológicos de la fermentación alcohólica. 2009. Informe Técnico del Instituto de Investigaciones de Derivados de la Industria Azucarera, La Habana, Cuba.
- Fonseca, F.G.O. 2012. Elaboración de alcohol rectificado a partir de la melaza en la empresa agroindustrial., en Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión: Huacho, Perú.
- Galarza, H.O.N. 2009. Evaluación de las condiciones de la fermentación alcohólica utilizando *Saccharomyces cerevisiae* y jugo de caña de azúcar como sustrato para obtener etanol., en Departamento de ciencias de la vida Ingeniería en biotecnología. Escuela Politécnica del Ejército: Sangolqui, Ecuador.
- García Prado, R., Pérez Martínez, A., Diéguez Santana, K., Mesa Garriga, L., González Herrera, I., González Cortes, M., y González Suárez, E. (2015). Incorporación de otras materias primas como fuente de azúcares fermentables en destilerías existentes de etanol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 75, 130-142.
- Gray, K.A. 2007. Cellulosic ethanol - state of the technology. *International Sugar Journal*. CIX (1299): p. 145-151, 2007.

- Herrera, M.C. 2009. El etanol. Instituto de Investigaciones de Derivados de la Industria Azucarera, La Habana, Cuba.
- Instituto de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar en Cuba (ICIDCA). 2022. Manual de producción de alcohol y levadura en destilería. La Habana, Cuba.
- Kasatkin, A.G. 1986. Operaciones Básicas y Aparatos en la Tecnología Química. Octava ed. Vol. II, Moscú: Editorial Química.
- Kern, D.Q. 1988. Procesos de transferencia de calor. Edición Cubana ed. Vol. I.
- McCabe, W.L. y J.C. Smith. 1981. Operaciones básicas de Ingeniería Química. Edición Revolucionaria ed. Vol. II.
- Morales Zamora, M., De Armas Martínez, A. C., González Suárez, E., Ley Chong, N., & Villanueva Ramos, G. (2021). La sinergia entre las biorrefinerías de azúcar y el desarrollo de la industria química en Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 81-91.
- Otero, M.A; Saura, G.; Martínez, J.A. 2005. Producción de etanol a partir de diferentes materias primas. Un análisis comparativo ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, La Habana. 39 (1): 18-21.
- Pavlov, K.F., P.G. Romankov, y A.A. Noskov. 1981. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Moscú: Editorial Mir.
- Peacock, T.M. 2014. Simulación de la Unidad de Estabilización de la refinería "Hermanos Díaz" empleando el simulador Hysys 3.2., Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente: Santiago de Cuba.
- Puyáns, L.R.G. 2002. Procesos de separación con operaciones de transferencia de masa en sistemas Gas-Líquido. Folleto. Universidad de Oriente: Santiago de Cuba.
- Rosales-Calderon, O., & Arantes, V. (2019) A review on commercial-scale high-value products that can be produced alongside cellulosic ethanol. *Biotechnol Biofuels*, 12.
- Saura, Gustavo; García, Roxana; Otero, Miguel A.; Martínez-Valdivieso, Julio A.; Bello, Daniel; Pérez, Indira. 2009. Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de caña mezclados. Parte I. Materias Primas. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 43(2): 42-46.
- Treybal, R.E. 1984. Operaciones con Transferencia de Masa. Segunda ed. McGraw Hill Companies, Inc.
- Viñals, Mabel; Bell, Antonio; Michelena, Georgina; Ramil, Marlen. 2012. Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 46(1): 7-16.

