

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD
CIENFUEGOS**
Carlos Rafael Rodríguez
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

**Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y
jugos de los filtros en el Central azucarero “5 de septiembre”.**

Autora: Chabeli Rumbaut Socorro.

Tutor: MSc. Víctor Manuel González Morales

Cotutor: Ing. Orlando Stable Rodríguez

Colaborador: Ing. Antonio Frías López

Cienfuegos

2018

Pensamiento

Bueno es ir a la lucha con determinación, abrazar la vida y vivir con pasión, perder con clase y vencer con osadía, porque el mundo pertenece a quien se atreve y la vida es mucho más para ser insignificante.

Charles Chaplin

Dedicatoria

Esta tesis va dedicada a las personas que estuvieron junto a mí a lo largo de estos cinco lindos años: mi mamá, mi hermana, mi padrastro, mis tíos, mis primos, mi tía postiza Mercedita y mis compañeros de aula. A todos muchas gracias.

Agradecimiento

A mi tutor Víctor, por tenerme tanta paciencia.

Agradecerle muy en especial a mi mamá por apoyarme siempre a pesar de que no soy para nada fácil.

A mi hermana por soportarme mis pesadeces y ser un ejemplo para mí.

A mi padrastro por estar siempre que lo necesité.

A mis tíos -padrinos por ser su casa una segunda casa para mí.

A mi primo Richard por ser mi gran cómplice a lo largo de toda mi vida.

A mi tía Mercedita por ayudarme desde la distancia.

A mis compañeros de aula en especial a Yamely, Sulay, Flavia, Diego, Yoan y Elianis por todos los momentos compartidos, sin dudas lo mejor de estos cinco años fue haberlos conocido.

A mi compañera de aula Daime y su esposo el Dany por aceptarme en su casa y pasar por tantas cosas, ni tan siquiera la sub-tormenta tropical Alberto pudo con nosotros tres.

A mi gente de la Peña Barcelonista de Cienfuegos por todos los momentos compartidos.

A todos muchas gracias y mil besotes.

Resumen

Las materias primas para la obtención de etanol por vía fermentativa la constituyen sustratos ricos en fuentes de carbono que permiten ser transformados con facilidad en azúcares fermentables. En el presente trabajo se diseñó la propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero “5 de septiembre” que está situado en la provincia de Cienfuegos, municipio de Rodas. Se hace una resumida descripción de la fábrica de azúcar. Se realizaron los balances de masa y energía en la etapa de preparación de mosto, fermentación y destilación para determinar así las corrientes principales del proceso utilizando para ello el Microsoft Excel. Se describen brevemente los equipos fundamentales de la destilería. Se realizó la evaluación económica de tres posibles escenarios de trabajo de la destilería por medio de la hoja de cálculo del Peters y se determinó que las tres resultan factibles económicamente pues el VAN para los tres es mayor que cero ($VAN > 0$), la TIR $> 16\%$ y el RVAN es mayor que el establecido ($RVAN > 1$) lo que propicia la aceptación del proyecto.

Palabras claves: alcohol extrafino, fermentación, destilación, azúcares fermentables.

Abstract

The raw materials for obtaining ethanol by fermentative way constitute substrates rich in carbon sources that allow to be easily transformed into fermentable sugars. In the present work, the proposal of a distillery of extra-fine alcohol from final honey and filter juices was designed in the Sugar Mill "September 5" which is located in the province of Cienfuegos, municipality of Rhodes. A small description of the sugar factory is made. The mass and energy balances were made in the stage of preparation of must, fermentation and distillation to determine the main currents of the process using the Microsoft Excel. The basic equipment of the distillery is briefly described. The economic evaluation of three possible work scenarios of the distillery was made by means of the Peters spreadsheet and it was determined that the three are economically feasible since the NPV for the three is greater than zero ($VAN > 0$), the $IRR > 16\%$ and the RVAN is higher than the established one ($NRVA > 1$), which favors acceptance of the project.

Keywords: extrafine alcohol, fermentation, distillation, fermentable sugars.

Índice

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Producción de alcohol etílico con diferentes sustratos a partir de la caña de azúcar.	12
1.1 Materias Primas para la obtención de alcohol etílico.....	12
1.1.2 Evaluación del efecto de las extracciones de corrientes secundarias en los balances de materiales y energía de la fábrica de azúcar.....	15
1.2 Alcohol Etílico .Generalidades.....	16
1.2.1 Estado actual del etanol en el mundo:.....	17
1.3 Melazas y jugos de los filtros en el proceso de obtención de etanol.....	20
1.3.1 Métodos de Obtención del etanol.....	22
1.4 Fermentación.....	23
1.4.1 Tipos de Fermentación.....	24
1.5 Fermentación alcohólica mediante <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	26
1.5.1 Levadura Generalidades.....	28
1.5.2 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> . Características generales.....	29
1.6 Destilación.....	30
1.6.1 Tipos de destilación.....	30
1.6.2 Ventajas y desventajas de la destilación.....	32
Proceso de destilación de etanol con cinco columnas.....	33
Conclusiones Parciales Del Capítulo.	34
Capítulo II Diseño de la destilería de etanol usando miel final y jugos de los filtros.	36
2.1 Caracterización del Ingenio "5 de Septiembre y sus posibilidades de integración con la producción de etanol.	36
Ubicación Geográfica:.....	36
2.2 Potencialidad del ingenio para la producción de etanol.	37
2.3 Descripción literal del proceso.....	37
2.3.1 Recepción de la Materia Prima.	37
2.3.2 Preparación de mostos.....	37
2.3.3 Fermentación.....	39
2.3.4 Destilación–Rectificación.	40
2.4 Balance de masa del proceso:.....	42
2.4.1 Balance de masa en la sección de fermentación.....	42

2.4.2 Balance de masa y energía en la sección de Destilación.....	53
Donde:	55
2.5 Breve descripción de los equipos fundamentales de la sección de fermentación de la destilería.	65
2.6 Breve descripción del equipamiento de la sección de destilación.....	66
Conclusiones parciales del capítulo.	67
Capítulo 3 Evaluación económica.....	68
3.1.-Costo Total de Inversión.....	69
3.1.1-Costos Totales de Producción.....	69
3.1.2-Ganancia del proceso.	70
3.2 Determinación de los indicadores dinámicos de rentabilidad	70
3.3 Cálculo de los indicadores económicos.	73
3.3.1 Costo Total Del Equipamiento.....	73
3.3.2 Costos Totales de Producción.	76
3.4 Indicadores dinámicos de rentabilidad.....	79
3.4.1 Análisis de riesgo.	80
3.5 Consideraciones sobre el impacto ambiental y social de la propuesta.....	84
<i>Impacto ambiental</i>	84
Conclusiones Parciales.....	84
Conclusiones Generales.	85
Recomendaciones.....	86
Bibliografía	87

Introducción

La industria azucarera cubana fue durante muchos años el pilar de la economía del país. Durante los primeros años de revolución y hasta los primeros años de la década de los noventa era el sector azucarero el que más beneficios económicos aportaba a la economía del país. Marquetti (2001)

Con el derrumbe del campo socialista son los ingenios azucareros las industrias más afectadas del país al ser La Unión Soviética el principal comprador de azúcar, y un gran abastecedor de maquinarias e insumos agrícolas. González (2004)

Esto trajo como consecuencia la falta de aseguramientos fundamentales, la pérdida de un mercado seguro, pérdidas significativas en los niveles de ingresos por exportación. Afectando así la capacidad del país y la necesidad de comercializar el azúcar en el mercado libre fuera de los mercados preferenciales. Lo que posteriormente llevo al desmantelamiento y deterioro de algunos de los centrales azucareros. González (2004)

En la actualidad se ha logrado recuperar algunos de los centrales que fueron afectados durante la crisis de los noventa del pasado siglo, pero aun así la industria azucarera no ve la luz al final del túnel debido a la elevación significativa de los precios de los insumos, así como la ineficiencia productiva. Lo que lleva a los ingenieros y dirigentes de este sector agroindustrial a replantearse una posible diversificación de la misma. Marquetti (2001)

Para lograr la tan importante diversificación AZCUBA comenzó en 2008 los primeros pasos hacia determinados proyectos, encaminados a lograr la excelencia en todas las esferas del quehacer azucarero, que persigue diseñar un central modelo de nuevo tipo y la recuperación consiguiente de un sector que fue alguna vez columna económica casi absoluta de Cuba. Quintana (2015)

Para lograr este objetivo se requiere que los ingenios azucareros sean capaces de producir además de azúcar, sus derivados, con una alta eficiencia y calidad logrando productos finales de alto valor comercial, que puedan ser vendidos al exterior.

Unas de las principales formas tecnológicas que se pueden considerar en un proceso inversionista de contexto azucarero y especialmente en Cuba para la conversión de fábricas azucareras son las siguientes:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

- 1 La disposición tecnológica para utilizar jugos de la molienda (4° y 5° molinos y /o filtros) y miel final o miel B como materia prima en la destilería. Quintana (2015)
- 2 La producción de etanol, alcoholes superiores, ésteres y anhídrido carbónico como producto y coproductos de la destilación. Quintana (2015)
- 3 La producción de torula y crema de levadura *Saccharomyces* a partir de miel final y la vinaza resultante del proceso tecnológico de la destilería. Quintana (2015)

Con estas formas tecnológicas se impone hacer una nueva proyección estratégica que mejore las producciones y servicios del "Central 5 de septiembre", logrando así que el mismo sea un eslabón fundamental en cuanto a los aportes a la economía de la provincia de Cienfuegos y del país.

Con la crisis actual del mercado del azúcar, los países productores de la misma quieren buscar nuevas alternativas que den oportunidades de ventas, a productos derivados del proceso de obtención de la misma, y que incluso actualmente tienen más importancia que la propia azúcar.

La industria azucarera se puede transformar en una multi-industria mediante la producción de alimentos, combustibles y productos orgánicos.

Cuba quiere seguir consolidando su desarrollo industrial y social, mediante la integración económica con otros países para la exportación de las producciones del país. El azúcar y el alcohol tienen actualmente precios altos en el mercado internacional lo que le da una gran oportunidad al país de exportar estos dos productos de alta importancia para la humanidad. La UEB Central Azucarero ``5 de septiembre `` como parte integrante de este paso de avance tiene la necesidad de implementar una destilería de etanol capaz de aumentar su diversificación, por lo que el *problema científico* a considerar es:

La UEB Central Azucarero ``5 de septiembre `` no es una fábrica diversificada, entonces la *hipótesis* es:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Mediante la implementación del diseño de una destilería de alcohol a partir de mieles finales y jugos de los filtros en la UEB Central Azucarero ``5 de septiembre `` aumentará la diversificación de la empresa produciéndose así beneficios económicos, ambientales y sociales.

Objetivos planteados:

General:

Elaborar una propuesta de destilería de etanol en la UEB Central Azucarero ``5 de Septiembre``.

Específicos:

- 1 Conocer sobre tecnologías de producción de alcohol tanto en Cuba como en el mundo.
- 2 Elaborar una propuesta de Proyecto tecnológico de la nueva destilería.
- 3 Evaluar el impacto económico, social y ambiental de la planta propuesta para la UEB Central Azucarero `` 5 de Septiembre ``.

Capítulo 1. Producción de alcohol etílico con diferentes sustratos a partir de la caña de azúcar.

1.1 Materias Primas para la obtención de alcohol etílico.

Las materias primas para la obtención de etanol vía fermentativa la constituyen sustratos ricos en fuentes de carbono que permitan ser transformados con facilidad en azúcares fermentables, en almidón o celulosa. Su uso práctico estará determinado por el rendimiento en alcohol, por su costo y el tipo de microorganismo que se utilice. Arenciabria (2014).

Varios autores, coinciden en definir 3 tipos de materias primas para la producción de etanol. Crespo (2014).

1. Sustratos portadores de azúcares simples, siendo los principales jugos de frutas, de caña de azúcar y melazas de esta y de remolacha, suero lácteo.
2. Sustratos amiláceos, los que son ricos en almidón como el trigo, maíz, cebada, avena, centeno arroz, sorgo y yuca, entre otros.
3. Sustratos lignocelulósicos como la madera, bagazo de caña, residuos agrícolas y de fábricas de tableros, papel y cartón.

El gran potencial de Cuba lo constituye el grupo 1, procedentes de la caña de azúcar y sus subproductos, particularmente las melazas. Crespo (2014).

La mayoría de los países productores emplean como materia prima la caña de azúcar (Dias y col, 2009).

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. Es un híbrido complejo de varias especies, derivadas principalmente del *Saccharum officinarum* y otras especies de *Saccharum*. Rein (2012).

Tabla 1.1.Rendimiento del alcohol según materia prima (Dias y col, 2009).

Materia Prima	t/ha	litros de alcohol /ha	litros de alcohol /t
Caña	70	5600	80
Maíz	8	3040	380
Yuca	14	2380	170

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Remolacha	40	4000	100
-----------	----	------	-----

La capacidad de miel disponible en instalaciones de la industria de azúcar de caña, en la mayoría de los casos, no satisface la demanda de este producto para la fermentación alcohólica. Teniendo en cuenta este aspecto, la creciente demanda de etanol en el mercado internacional como combustible, y considerando que existen capacidades instaladas en las destilerías; es necesario buscar otras fuentes alternativas de materias primas para la fermentación, con el objetivo de evitar las capacidades instaladas ociosas y lograr el aumento de la producción de etanol con el menor costo asociado. García (2013).

La extracción de corrientes intermedias representa para una fábrica de azúcar un incremento en su capacidad de molienda, disponibilidad de energía y del equipamiento de las áreas de purificación y evaporación al dejar de procesar corrientes que representan un por ciento de la caña molida (jugo de los filtros y el jugo secundario). Adicionalmente, se evita la incorporación al proceso de un material con altos contenidos de no azúcares, coloides y microorganismos que en última instancia perjudican la calidad del azúcar y el agotamiento de las mieles. García (2013).

Tabla 1.2 Caracterización de los sustratos utilizados en la fermentación alcohólica. García (2013).

Parámetro	Miel final	Jugos de los Filtros	Jugo secundario
Azúcares			
Reductores (g/l)	452,34	125,17	83,1
PH	5,76	5,8	5,63
Brix°	81,8	15,13	11,1
Pol (%)	42,24	11,69	9,98

Estudios realizados en García (2013), donde se analizaron diferentes combinaciones posibles para la obtención de etanol, entre las que se encuentran mezclas de jugos secundarios y de los filtros para la fermentación alcohólica, mezclas de jugos

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

secundarios y mieles y mezclas de jugos de los filtros y mieles. Se determinó que la mezcla de jugos de los filtros y melazas tiene un alto rendimiento y una alta eficiencia, llegando a la conclusión de que el jugo de los filtros es una corriente adecuada para el proceso fermentativo.

Se desarrollaron los modelos de la mezcla ternaria para el análisis del % alcohólico, el rendimiento y la eficiencia en la fermentación como parámetros respuestas. Como variables independientes se tomaron los porcentajes de ART que aportaban los sustratos: jugo de los filtros, secundario, miel y los azúcares reductores iniciales. Los modelos de ecuaciones fueron los siguientes. García (2013):

$$\% \text{Alcohólico} = 0,5 * \text{Miel} + 0,3 * \text{JS} + 0,7 * \text{JF} - 1,6 * \text{Miel} * \text{JS} - 2,4 * \text{Miel} * \text{JF} - 0,4 * \text{JS} * \text{JF} - 0,3 * \text{Miel} * \text{JS} * \text{JF} \%$$

$$\text{Rendimiento} = 46,64 * \text{Miel} + 46,25 * \text{JS} + 46,41 * \text{JF} - 1,1 * \text{Miel} * \text{JS} + 17,3 * \text{Miel} * \text{JF} - 6,88 * \text{JS} * \text{JF} + 103,98 * \text{Miel} * \text{JS} * \text{JF}.$$

$$\text{Eficiencia} = 72,43 * \text{Miel} + 71,84 * \text{JS} + 72,05 * \text{JF} - 1,78 * \text{Miel} * \text{JS} + 26,84 * \text{Miel} * \text{JF} - 10,7 * \text{JS} * \text{JF} + 161,94 * \text{Miel} * \text{JS} * \text{JF}.$$

Donde: JS = Fracción de jugo secundario, JF = Fracción de jugo de los filtros, Miel = Fracción de miel final.

Los modelos muestran que, según los coeficientes de las variables independientes, la procedencia de los jugos contribuyen favorablemente a las respuestas analizadas, obteniéndose mejores resultados en las formulaciones que contienen jugo de los filtros. Se aprecia, además, que se favorece el proceso con el uso de una mezcla de jugo secundario, jugo de los filtros y miel, como se ha analizado anteriormente. Estos resultados permiten la toma de decisiones para evaluar otras alternativas de mayor capacidad de producción de etanol con la disponibilidad de los jugos de los filtros y secundarios de la fábrica de azúcar.

Estos modelos también demuestran la importancia del jugo de los filtros en la fermentación y confirman las posibilidades de emplear jugos diluidos en la fermentación alcohólica, y con ello ahorrar el proceso de concentración de estas corrientes e incluso los gastos de agua en su posterior dilución, lo que indudablemente permite un impacto económico positivo.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

1.1.2 Evaluación del efecto de las extracciones de corrientes secundarias en los balances de materiales y energía de la fábrica de azúcar.

La Figura 1 muestra los valores correspondientes al efecto de la extracción del jugo de los filtros en las principales corrientes fluidas del proceso en las estaciones de alcalización y clarificación, para un ingenio que tenga una molida diaria de 7440 toneladas de caña. García (2013).

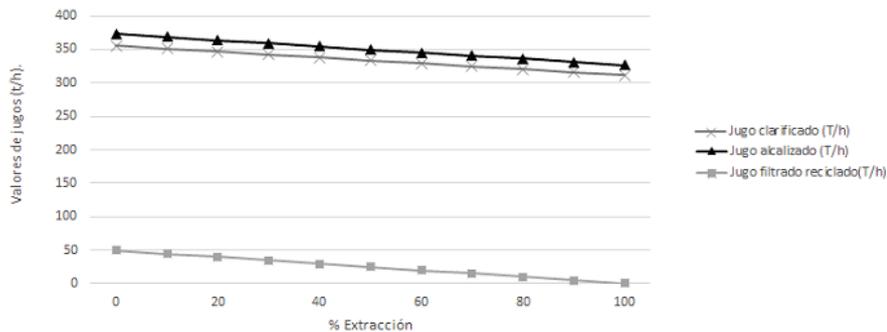


Figura 1 Efecto del por ciento de extracción del jugo de los filtros en las principales corrientes del procesos de fabricación de azúcar.

Se puede observar que a medida que aumenta la extracción de jugos de los filtros se disminuye la disponibilidad de los jugos alcalizado y clarificado.

La figura 2 muestra que la producción de azúcar disminuye en un 5,3% y las mieles producidas en un 70%. García (2013).

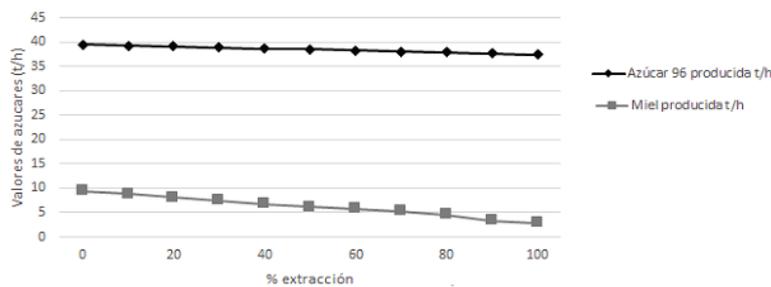


Figura 2 Efecto de la extracción del Jugo de los filtros en la producción de azúcar y miel.

Es evidente el efecto negativo de la extracción de los jugos de los filtros en las cantidades de azúcar crudo y miel final a obtener, no obstante, eso puede compensarse

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

tanto por el ahorro energético como por la posibilidad de utilizar los jugos pobres con otros destinos. García (2013),

Se deduce que de la extracción de los jugos de los filtros aumenta la disponibilidad de bagazo para otros usos como la producción de etanol, desde 9,02 t/h hasta 13,09 t/h, lo que representa un incremento del bagazo disponible de 4,07 t/h, lo que es un 45,12%, debido a un sustancial ahorro de vapor que se reduce de 173,5 t/h hasta 159,54 t/h. García (2013).

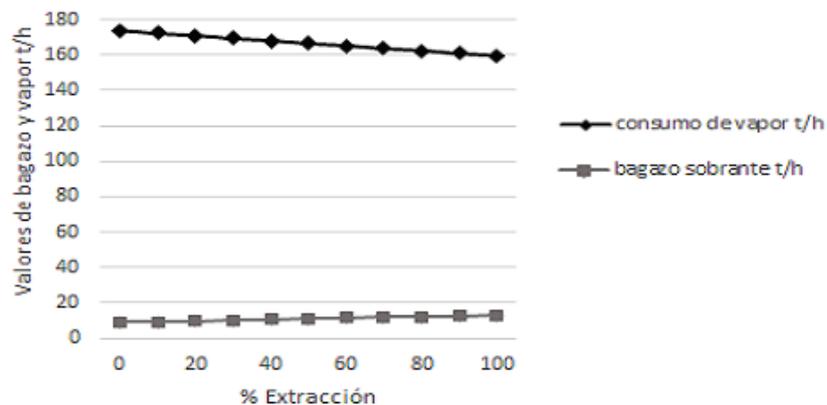


Figura 3 Efecto de la extracción de los Jugos de los filtros en los consumos de vapor y cantidad de bagazo residual. García (2013).

1.2 Alcohol Etilico .Generalidades.

El alcohol etílico es un líquido incoloro, combustible, de olor agradable y sabor picante, que hierve a 78.4°C y no es fácil de solidificar. Se le denomina también etanol, espíritu de vino, metilcarbinol, Su fórmula es C₂H₅OH. No se le encuentra en estado natural en grandes cantidades. (Espinal y col., 2009)

Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración la fermentación de los azúcares en muchas plantas como las patatas, frijoles de la soja, cebada, caña y maíz con ayuda de las de las enzimas presentes en la levadura. Kline (2016)

El **alcohol** es soluble tanto en agua como en grasas; se caracteriza por ser una sustancia psicoactiva, depresora del sistema nervioso central, y con capacidad de causar dependencia, y es una de las primeras drogas recreativas usada por los humanos.

Kline (2016).

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Los alcoholes tienen uno hasta tres grupos hidróxido (-OH) enlazados a sus moléculas, por lo que se clasifican en monohidroxílicos, dihidroxílicos y trihidroxílicos respectivamente. El metanol y el etanol son monohidroxílicos. Los alcoholes también se pueden clasificar en primarios, secundarios y terciarios, dependiendo de que tengan uno, dos o tres átomos de carbono enlazados con el átomo de carbono al que se encuentra unido el grupo hidróxido. Los alcoholes se caracterizan por la gran variedad de reacciones en las que intervienen. Una de las más importantes es la reacción con los ácidos, en la que se forman sustancias llamadas ésteres, semejantes a las sales inorgánicas. Los alcoholes son subproductos normales de la digestión y de los procesos químicos en el interior de las células y se encuentran en los tejidos y fluidos de animales y plantas. Frias (2013)

Tabla 1.2 Propiedades físico químicas del alcohol, Penín (2016).

Propiedad	Valor
Temperatura de ebullición	78,5°C
Temperatura de inflamación	13,00°C
Temperatura de fusión	114,10°C
Temperatura de autoignición	363,00°C
Densidad relativa	0,79
Peso molecular	46,07
Estado Físico, color,	Líquido incoloro
Solubilidad en agua	Miscible
Presión de vapor	43,00 mmHg a 20°C
% de volatilidad por volumen	100
Viscosidad	1,20 cp

1.2.1 Estado actual del etanol en el mundo:

En la antigüedad solo se usaba el etanol para la fabricación de bebidas alcohólicas, pero en la actualidad la demanda de etanol va en ascenso sobre todo por la importancia que tiene el mismo en los procesos industriales. Con el calentamiento global creciente, el deseo del hombre de extender el suministro de combustible de motor y reducir la presión en los suministros de aceite crudos mundiales ha llevado a la demanda mundial creciente del etanol. Otulugbu (2012)

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

A nivel mundial, aproximadamente 90% de la energía consumida proviene de fuentes no renovables, por lo que estos recursos fósiles se están agotando aceleradamente y su tasa de disminución es cada vez mayor. Por lo anterior, desde hace algunos años, distintas naciones han incursionado en la búsqueda de fuentes alternas de energía Becerra (2004).

En las épocas más críticas de la economía mundial los gobiernos incentivaron el uso del etanol tanto en mezclas como puro, con miras a garantizar el suministro de combustible. La incertidumbre entonces en los precios del petróleo llevó en los años 70 a que algunos países, especialmente Brasil, emprendieran programas nacionales de sustitución parcial de la gasolina por fuentes energéticas renovables. En la actualidad no solamente se ve el etanol como una salida a las crisis económicas sino también como una solución ecológica al gran impacto ambiental generado por los combustibles derivados del petróleo. Frías (2013).

En la mayoría de los países de Latinoamérica se produce el alcohol etílico y sus derivados a partir de azúcar y melazas. La producción de alcoholes a partir de cereales es más utilizada en los Estados Unidos y en algunos países de Europa. América es el mayor exportador de alcohol, particularmente Estados Unidos, siendo sus principales clientes: Europa, Brasil, Japón, y Corea del Sur. El otro importante exportador es Brasil, que exporta fundamentalmente a Europa, Estados Unidos y Japón. También países de Centro América, América del Sur y el Caribe exportan alcohol hacia la Unión Europea, Estados Unidos, Brasil y Japón. Penín (2016).

El gráfico que se incluye a continuación muestra la evolución productiva de etanol desde el año 2000 hasta el 2016.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

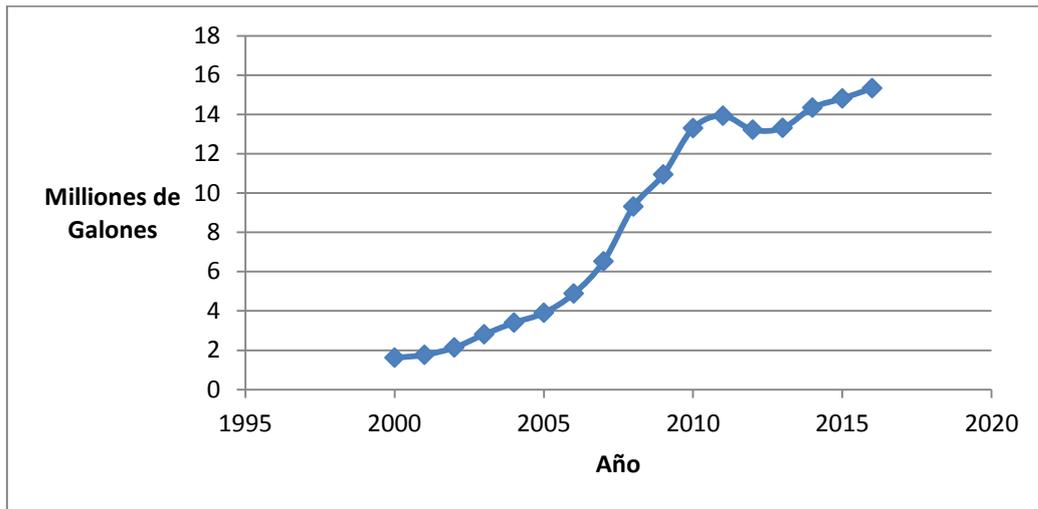


Grafico 2. Producción de etanol a nivel mundial. Fuente: elaboración propia, datos Lichts (2016).

El gráfico siguiente muestra los países más productores de etanol a nivel mundial desde el año 2014 hasta el año 2016.

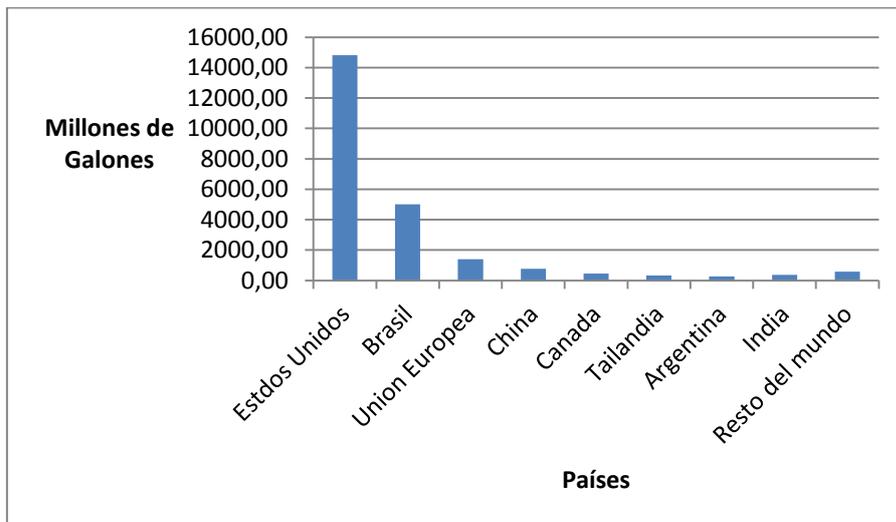


Grafico 2. Producción de etanol a nivel mundial por países. Fuente elaboración propia, datos Lichts (2016).

A inicios de este siglo se ha manifestado un retorno de la política dirigida a estimular la sustitución de combustibles derivados del petróleo por biocombustibles. Diversos países, incluyendo Estados Unidos a través de la política actual de energía y la Unión Europea a través del Plan de Acción de biocombustibles, establecen metas de aplicación para el uso de biocombustibles. Estas iniciativas fueron motivadas especialmente por la

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

elevación de los precios del petróleo, la elevación de los riesgos en el suministro del mismo y especialmente por los problemas ambientales. (Dias y col, 2009).

1.2.2 Aplicaciones y uso del alcohol etílico.

Además de usarse con fines culinarios (bebida alcohólica), el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como excipiente de algunos medicamentos y cosméticos y en la elaboración de ambientadores y perfumes. Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante. También se aprovechan sus propiedades desinfectantes. Se emplea como combustible industrial y doméstico. Esta última aplicación se extiende también cada vez más en otros países para cumplir con el protocolo de Kyoto. Estudios del Departamento de Energía de EUA dicen que el uso en automóviles reduce la producción de gases de efecto invernadero en un 85 %. Ponce (2015).

Principales usos: Barrios (2014).

1. Sustituto de la gasolina.
2. Como materia prima para la producción de acetaldehído.
3. Agente precipitante y perseverante.
4. Disolvente de Nitrocelulosa.
5. Gomas.
6. Resinol.
7. Jabón.
8. Drogas (Bebidas Alcohólicas)
9. Aceites esenciales.
10. Ceras.

1.3 Melazas y jugos de los filtros en el proceso de obtención de etanol.

Melazas:

Antes de realizar el proceso de fermentación alcohólica, es necesario someter la melaza a tratamientos previos para acondicionarla, (Arteaga y Carvajal, 2013).

Esterilización. Las melazas pueden contener microorganismos que pueden ser nocivos para la fermentación. El más común es la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*, el cual polimeriza las moléculas de sacarosa en dextranos no fermentables (Garzón, 2009).

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Asimismo, puede encontrarse en las melazas la bacteria *Zymomonasmobilis*; esta bacteria puede convertir los azúcares en etanol, pero también tienen el efecto de reducir los compuestos azufrados para producir un olor similar al sulfuro de hidrógeno, lo cual es desastroso para la producción de ron de buena calidad (Arteaga y Carvajal, 2013).

Dilución. La altísima concentración de azúcares y sales presentes en las melazas impiden que los microorganismos puedan fermentarlas, debido a la gran presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares; asimismo, las melazas son altamente viscosas, y su manipulación es difícil en estas condiciones. Por estas razones, es necesario diluir las melazas; para ello, se les agrega agua, hasta obtener diluciones de 25° Brix o menores; a valores mayores se tiene el riesgo de inicios lentos de fermentación y contaminación bacteriana (Arteaga y Carvajal, 2013).

Adición de nutrientes. En ocasiones es necesario añadir algunos elementos adicionales, con el fin de complementar los nutrientes necesarios para los microorganismos que realizarán la fermentación. Para las melazas de caña de azúcar, es necesario añadir algo de nitrógeno y fósforo (nutrientes), cuyo índice de consumo es 0,80kg/Hl. Para producción de alcohol carburante, el nitrógeno puede añadirse en forma de urea con un índice de consumo de 0,36kg/m³. Los requerimientos en fósforo pueden cubrirse con fosfato de amonio con un índice de consumo de 0,12kg/m³, con la correspondiente disminución de urea o la fuente de nitrógeno usada (Arteaga y Carvajal, 2013).

Jugos de los filtros:

El jugo de los filtros de cachaza clarificado, que se puede definir según (García (2005)) como la corriente intermedia que se obtiene en las operaciones de separación de la torta de cachaza extraída del jugo clarificado en el proceso de fabricación del azúcar crudo. El jugo de los filtros debido a su baja retención tiene aproximadamente un 5% de sólidos insolubles, lo que obliga a recircularlos en cantidades de 10 a 20% con el jugo mezclado en el proceso de fabricación del azúcar, variando esta recirculación de acuerdo a la cantidad de materia extraña que contenga la caña; este se considera conflictivo en el proceso de fabricación de azúcar crudo, ya que contiene polisacáridos como el almidón y la dextrana, que afectan el propio proceso de clarificación y de operaciones posteriores, a causa del aumento de viscosidad del jugo clarificado, meladura, masa cocida, etc. y la calidad del azúcar crudo.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Se evaluó el jugo de los filtros en la obtención de etanol, llegando a la conclusión que aunque el consumo de jugo por hectolitro de alcohol referido a las mieles se incrementa debido a la disminución de azúcar presente en el mismo, su utilización reporta grandes ventajas desde el punto de vista tecnológico al proceso y como sustituto de una parte de la miel final que pudiera destinarse a otros usos. Torres (2005)

1.3.1 Métodos de Obtención del etanol

En Cuba las melazas de caña son la fuente principal de sustrato de los procesos fermentativos y es la materia fundamental para la obtención de alcohol extrafino en destilerías cubanas, además constituyen uno de los productos de la industria azucarera que exporta Cuba para ser utilizado en otras naciones como sustratos en diferentes procesos. Las melazas además son una de las fuentes más baratas de carbohidratos y no solo contienen gran cantidad de azúcares, sino también sustancias nitrogenadas, vitaminas y elementos trazas, todas muy beneficiosas para el crecimiento y multiplicación de los microorganismos y en general para el desarrollo del proceso metabólico microbiano. Cervantes (2010).

La obtención de etanol puede lograrse por vía enzimática y/o por vía fermentativa, en Cuba la más utilizada es por vía fermentativa, aunque ya se realizan trabajos por vía enzimática. Este último proceso se basa en la obtención de etanol a partir de un residuo lignocelulósico que involucra como etapa fundamental la producción de azúcares fermentables a partir de celulosa y hemicelulosa (Iglesias (2016)) centrándose en la vía fermentativa la cual es la principal vía de obtención de etanol, se utiliza la acción de microorganismos determinados sobre un sustrato rico en carbohidratos (C).

Catalizador



Otra forma de obtener el etanol es por el método tradicional de fermentación microbiológica.



Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

La fermentación alcohólica se clasifica como anaerobia de sustratos sumergidos, fase líquida, procesos discontinuos, en suspensión con el objetivo de obtener biomasa y productos asociados. Frías (2013).

En la etapa fermentativa se emplean diferentes tipos de nutrientes. Los más utilizados en Cuba son urea y sulfato de amonio como suministradores de nitrógeno, como portador de fósforo se emplea el fosfato de amonio. Los nitratos y nitritos no son metabolizados por la *S. Cerevisiae*, y se plantea que la preferencia de utilizar urea en la práctica industrial obedece a que es la fuente de menor costo por unidad de nitrógeno, según reporta. Iglesias (2016).

Las etapas principales para la obtención de etanol son: (Gonzales y col., 2010)

1. Preparación de Mosto
2. Fermentación
3. Destilación.

1.4 Fermentación.

El fenómeno de la fermentación debió llamar la atención del hombre desde las épocas más remotas, pero sin el conocimiento de la naturaleza de los fenómenos químicos y biológicos que rigen las manifestaciones de la vida, no se puede dar una explicación, ni lejanamente probable sobre este fenómeno, y su realidad quedó envuelta en los velos del misterio hasta mediados del siglo XIX. Para entonces, sin conocer las causas ni los agentes que determinaban su formación, se sabía que los líquidos azucarados, una vez fermentados, contenían alcohol y anhídrido carbónico. A partir del siglo XX fue que la fermentación se utilizó para producir productos como vinos, cervezas, pan, queso y otros alimentos aplicando la tecnología. Durante los años 20 la fermentación se utilizó para producción de productos químicos tales como etanol y butanol. Torres (2005)

La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico. Estos productos finales son los que determinan el tipo de fermentación. Fue descubierta por Louis Pasteur, que la describió como la “*vie sansl’air*” (la vida sin el aire) y es normalmente llevada a cabo por las levaduras. También algunos metazoos y protistas son capaces de realizarla. En los seres vivos, la fermentación es un proceso anaeróbico y en él no interviene la

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

mitocondria ni la cadena respiratoria. Son propias de los microorganismos, como algunas bacterias y levaduras. También se produce en la mayoría de las células de los animales (incluido el hombre), excepto en las neuronas que mueren rápidamente si no pueden realizar la respiración celular. Algunas células, como los eritrocitos, carecen de mitocondrias y se ven obligadas a fermentar. También se conoce que el tejido muscular de los animales realiza la fermentación láctica cuando el aporte de oxígeno a las células musculares no es suficiente para el metabolismo aerobio y la contracción muscular. Desde el punto de vista energético, las fermentaciones son muy poco rentables si se comparan con la respiración, ya que a partir de una molécula de glucosa, sólo se obtienen 2 moléculas de ATP, mientras que en la respiración se producen 38 moléculas, de ATP a partir de una molécula de glucosa. Esto se debe a la oxidación del NADH₂, que en lugar de penetrar en la cadena respiratoria, cede sus electrones a compuestos orgánicos con poco poder oxidante. En la industria la fermentación puede ser oxidativa, es decir, en presencia de oxígeno, pero es una oxidación aeróbica incompleta, como la producción de ácido acético a partir de etanol. Balconi (2011)

Durante la Fermentación alcohólica, las variables más importantes a controlar son el pH, temperatura y conteo celular en los prefermentadores. Iglesias (2016).

En general, las fermentaciones son reacciones en las que una sustancia orgánica se convierte en producto por la acción de microorganismo o de enzimas. Levenspiel (1986).

1.4.1 Tipos de Fermentación

✓ Fermentación acética

El alcohol etílico es transformado totalmente en ácido acético y agua por acción de bacterias del grupo acetobacter en presencia de oxígeno. Balconi (2011).

✓ Fermentación láctica

La fermentación láctica es un proceso celular anaeróbico donde se utiliza glucosa para obtener energía y donde el producto de desecho es el ácido láctico. Balconi (2011)

✓ Fermentación butírica

La fermentación butírica (descubierta por Louis Pasteur) es la conversión de los glúcidos en ácido butírico por acción de bacterias de la especie Clostridium

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

butyricum en ausencia de oxígeno. Se produce a partir de la lactosa con formación de ácido butírico y gas. Es característica de las bacterias del género Clostridium y se identifica por la aparición de olores pútridos y desagradables. Arcila (2015).

✓ Fermentación de la glicerina

El propanotriol, glicerol o glicerina (C₃H₈O₃) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (– OH), por lo que se puede representar la molécula como glicerol mostrando los átomos y el par solitario de electrones de cada oxígeno, el propanotriol es uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos, paso previo para el ciclo de Krebs. Se produce también como un producto intermedio de la fermentación alcohólica. El propanotriol, junto con los ácidos grasos, es uno de los componentes de los lípidos simples, como los triglicéridos y fosfolípidos. Un triglicérido está formado por una molécula de propanotriol al que se unen por enlaces éster tres moléculas de ácidos grasos. Los ácidos grasos pueden estar saturados de átomos de hidrógeno, de modo que todos los enlaces entre carbonos son simples. Normalmente se asocia un ácido graso saturado con enfermedades circulatorias y de origen animal. Los ácidos grasos que contienen menos hidrógenos se llaman ácidos grasos insaturados, los cuales se caracterizan por presentar en su estructura uno o más dobles enlaces, estos son de origen vegetal. Torres (2015).

✓ Fermentación pútrida

Fermentación en la cual se degradan sustratos que tienen naturaleza proteica originando productos como escatol, cadaverinas e indo, característicos por su fuerte aroma. Torres (2015).

✓ Fermentación maloláctica

La fermentación maloláctica se produce en el vino como resultado de la actividad metabólica de ciertas cepas de bacterias lácticas bien adaptadas. La reducción de la acidez del vino y la modificación de su sabor, que se producen por esta fermentación bacteriana, se suelen considerar beneficiosas para el vino. (Palacios., y col 2010).

✓ Fermentación Alcohólica.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico en el cual intervienen microorganismos, estos transforman los azúcares presentes en algunos alimentos en alcohol, dióxido de carbono, y energía. (Contrera y Campo., 2014).

La glucosa es transformada biológicamente en alcohol y anhídrido carbónico, en un proceso anaeróbico de bajo rendimiento energético. López (2005)

La fermentación alcohólica en los términos más simples es la conversión de azúcar en alcohol y gas carbónico mediante la acción de levadura. Las levaduras son los microorganismos más utilizados en la producción de etanol por la vía fermentativa, debido a que producen un mejor proceso de separación después de la fermentación, además producen un contenido de toxinas muy inferior a otros microorganismos. Penín (2016).

1.5 Fermentación alcohólica mediante *Saccharomyces Cerevisiae*.

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: CH_3-CH_2-OH) y dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas. Aunque en la actualidad se empieza a sintetizar también etanol mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como biocombustible (Espinal y col., 2009).

La especie *Saccharomyces Cerevisiae* es el principal microorganismo utilizado para la producción de etanol en el mundo. Su importancia radica gracias a su capacidad de generar dióxido de carbono y etanol durante el proceso de fermentación, además de su rápido crecimiento, facilidad con que se replican los cultivos y por la dispersión de la célula. Friás (2013).

Las alternativas de uso de jugos de los filtros se basan en las características que poseen los mismos y que influyen en la fermentación (Espinal y col., 2009)

Algunos de estos aspectos se muestran en la Tabla 1.2.

Generales	Aportados por los jugos.
-----------	--------------------------

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Aspectos Físicos.	Aspectos Físicos.
<p>Temperatura (inicial, media, final)</p> <p>Sólidos (sólidos Insolubles, presión osmótica, coloides)</p>	<p>Sólidos Insolubles: Constituyen soporte para microorganismos, originas incrustaciones, barreras en la transferencia de calor.</p> <p>Coloides: causa espumación durante la fermentación, barreras en la de transferencia de masa con la pared y membrana celulares.</p> <p>Presión osmótica: Elemento estresante a la célula por su participación activa en la actividad fermentativa. La constitución del jugo ejerce gran influencia en su valor.</p>
Aspectos Químicos	Aspectos Químicos
<p>Inhibidores (H⁺ , COOH, bloqueadores)</p> <p>Nutrientes (azúcares, ácidos grasos, vitaminas, NH₂, minerales, P₂O₅)</p>	<p>Concentración de hidrogenotes (H⁺): La influencia del pH es marcada en la actividad de la levadura. Un jugo con adecuado pH (5.5-5.7) garantizará una disminución hasta los valores óptimos de trabajo durante la propia fermentación.</p> <p>Bloqueadores: Compuestos que se asocian a enzimas específicas deteniendo una reacción bioquímica dada. Cuando los jugos son sulfatados, la presencia de sulfito provoca la</p>

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

	<p>detención de la deshidrogenación del acetaldehído para su transformación a etanol.</p> <p>Nutrientes: De su presencia y justa dosificación dependerá el éxito del proceso.</p>
Aspectos Bilógicos	Aspectos Biológicos
<p>Inóculo (cepa, conteo, estado fisiológico)</p> <p>Contaminantes (L. acéticas, hetero-lácticas, homo-lácticas)</p>	<p>Inóculo: No depende de las características del jugo pues las levaduras alcoholeras utilizadas normalmente fermentan jugos, aunque el uso de levaduras aclimatadas al trabajo con este sustrato beneficiaría la fermentación.</p> <p>Contaminantes: Aunque pueden provenir de diversas fuentes, el aporte proveniente del sustrato resulta ser marcado. La presencia de microorganismos que desvíen la ruta metabólica hacia la formación de otros productos afecta la fermentación.</p>

1.5.1 Levadura Generalidades.

Levadura es un nombre genérico que agrupa a una variedad de organismos unicelulares, incluyendo especies patógenas para plantas y animales, así como especies no solamente inocuas sino de gran utilidad. Las levaduras han sido utilizadas, desde la antigüedad, en la elaboración de cervezas, pan y vino, pero los fundamentos científicos

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

de su cultivo y uso en grandes cantidades fueron descubiertos por el microbiólogo francés Louis Pasteur en el siglo XIX. (Suárez y col., 2016)

Se conocen cepas diferentes y específicas para cada labor (panificación, destilería, producción de extractos de levadura y uso en animales.

Las levaduras son organismos eucariotas con gran diversidad respecto a su tamaño, forma y color. Son consideradas hongos unicelulares y generalmente sus células son ovaladas, pero también pueden encontrarse en forma esférica, cilíndrica o elíptica. Son mayores que las bacterias, alcanzando un diámetro máximo de entre cuatro y cinco μm . Se reproducen por fisión binaria o gemación y algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales. Son resistentes a antibióticos, sulfamidas y otros agentes antibacterianos de forma natural. Se conoce la secuencia completa de su genoma y se mantiene en constante revisión, lo que ha permitido la manipulación genética de los casi 6600 genes que codifican el genoma de levadura. El contenido de proteínas en las levaduras varía entre el 40 y el 50 % de su peso seco y tienen una excelente calidad en función de su perfil de aminoácidos esenciales. La mayoría de las levaduras toleran un rango de pH entre 3 y 10, pero les resulta favorable un medio ligeramente ácido con un pH entre 4,5 a 6,5. Las levaduras más estudiadas en el mundo son cepas provenientes de las especies: *Saccharomyces Cerevisiae* (levadura panadera comercial), *Kluyveromyces fragilis* y *Candida utilis*. Estas especies son consideradas como aptas para el consumo humano.

1.5.2 *Saccharomyces Cerevisiae*. Características generales

Saccharomyces Cerevisiae, es una levadura que constituye el grupo de microorganismos más íntimamente asociado al progreso y bienestar de la humanidad; su nombre deriva del vocablo *Saccharo* (azúcar), *myces* (hongo) y *Cerevisiae* (cerveza). Es una levadura heterótrofa, que obtiene la energía a partir de la glucosa y tiene una elevada capacidad fermentativa. Puede aislarse con facilidad en plantas y tierra, así como del tracto gastrointestinal y genital humano. El uso más extendido está enmarcado en la panificación y en las industrias de fabricación de cerveza, vinos y alcohol. La levadura inactivada por temperatura se usa como fuente de nutrimentos en alimentación animal y humana, tanto en forma de levadura íntegra como a partir de sus derivados. La levadura crece simultáneamente con la producción de alcohol por espacio de unas 20 horas. La velocidad de fermentación aumenta de forma rápida hasta alcanzar el

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

máximo al término de las 15 horas. La producción de alcohol continúa entonces a una velocidad decreciente, concluyendo el ciclo de 24 a 30 horas de fermentación, para obtener una concentración final de alcohol de 6 a 7 % de volumen (Suárez y col., 2016).

1.6 Destilación

Destilación: proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. Ximenez (2016)

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. Treybal (1985).

La destilación es una operación utilizada con frecuencia para la purificación y aislamiento de líquidos orgánicos. Y aprovecha las volatilidades y puntos de ebullición de los componentes líquidos a separar. Este proceso depende de parámetros como: El equilibrio entre el líquido y vapor, temperatura, presión, composición y puntos de ebullición. Mulet-Hing (2013).

1.6.1 Tipos de destilación.

✓ **Destilación por vapor.**

Si dos líquidos insolubles se calientan, ninguno de los dos es afectado por la presencia del otro (mientras se les remueva para que el líquido más ligero no forme una capa impenetrable sobre el más pesado) y se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, dicha mezcla siempre hierve a una temperatura menor que la de cada componente por separado. El porcentaje de cada componente en el vapor sólo depende de su presión de vapor a esa temperatura. Este principio puede aplicarse a sustancias que podrían verse perjudicadas por el exceso de calor si fueran destiladas en la forma habitual. Ximenez (2016)

✓ **Destilación molecular centrífuga.**

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Si una columna larga que contiene una mezcla de gases se cierra herméticamente y se coloca en posición vertical, se produce una separación parcial de los gases como resultado de la gravedad. En una centrifugadora de alta velocidad, o en un instrumento llamado vórtice, las fuerzas que separan los componentes más ligeros de los más pesados son miles de veces mayores que las de la gravedad, haciendo la separación más eficaz. Ximenez (2016)

✓ **Destilación destructiva.**

Cuando se calienta una sustancia a una temperatura elevada, descomponiéndose en varios productos valiosos, y esos productos se separan por fraccionamiento en la misma operación, el proceso se llama destilación destructiva. Las aplicaciones más importantes de este proceso son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol. Este último proceso ha sido ampliamente desplazado por procedimientos sintéticos para fabricar distintos subproductos. El craqueo del petróleo es similar a la destilación destructiva. Ximenez (2016)

✓ **Destilación fraccionada.**

La destilación fraccionada es un proceso de destilación de mezclas muy complejas y con componentes de similar volatilidad. Consiste en que una parte del destilado vuelve del condensador y gotea por una larga columna a una serie de placas, y que al mismo tiempo el vapor que se dirige al condensador hace burbujear al líquido de esas placas. De esta forma, el vapor y el líquido interaccionan de forma que parte del agua del vapor se condensa y parte del alcohol del líquido se evapora. Así pues, la interacción en cada placa es equivalente a una redestilación, y si se construye una columna con el suficiente número de placas, se puede obtener un producto destilado de la altísima pureza, como el alcohol de 96%; en una única destilación. Ximenez (2016)

✓ **Destilación al vacío.**

Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es evacuar parcialmente el alambique. Por ejemplo, la anilina puede ser destilada a 100 °C extrayendo el 93% del aire del alambique. Este método es tan

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular. Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables. Se coloca la sustancia en una placa dentro de un espacio evacuado y se calienta. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayoría del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco. Ximenez (2016).

1.6.2 Ventajas y desventajas de la destilación.

✓ Ventajas de la operación de destilación:

El método de destilación tiene como ventajas su simplicidad, baja inversión de capital y bajo potencial de riesgo; la nueva fase difiere de la original por su contenido calórico, pero el calor se adiciona o extrae rápidamente sin dificultad, aunque por supuesto, deberá inevitablemente considerarse el costo para hacer esto. De hecho la destilación como proceso, es difícil de vencer cuando los componentes a ser separados son térmicamente estables a su punto de ebullición y tienen una volatilidad relativa de 1.5 o más. La separación directa que es posible generalmente mediante este tipo de proceso, o sea la que permite obtener productos puros que no requieran un proceso posterior, ha hecho de la destilación una de las más importantes operaciones con Transferencia de Masa. Treybal, (1985).

✓ Desventajas de la operación de destilación:

A pesar de la destilación ser de gran importancia en las operaciones de transferencia de masa tiene como aspecto negativo su baja eficiencia termodinámica por lo que se necesita hacer un estudio termodinámico a fondo de esta etapa. Presenta además otra desventaja y son sus elevados costos por conceptos de energía necesaria. Treybal (1985).

Métodos para conducir la operación de destilación.

Existen métodos para clasificar la operación de destilación de acuerdo a diferentes puntos de vista. Delgado (2006)

Según el método de operación:

- Simple sin reflujo (De una sola etapa o de operación diferencial).
- Con reflujo (Continua o Discontinua).

Según la naturaleza del flujo de las fases:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

- Periódica $x=f(t)$ (Simple o con reflujo)
- Continua $x=f(L)$ (Simple o de Equilibrio)
- Por etapas (Columnas de platos)
- Por contacto Continuo (Columna Rellena)

Columna de destilación.

Una columna de destilación es una unidad compuesta de un conjunto de etapas de equilibrio con un solo alimento y dos productos, denominados destilado y fondo. Incluye, por lo tanto, una etapa de equilibrio con alimentación que separa dos secciones de etapas de equilibrio, denominada rectificación y agotamiento. Se requiere de un dispositivo, como un reherbidor, donde se transfiera calor al líquido que emerge de la etapa de equilibrio correspondiente al fondo de la columna para vaporizarlo parcialmente, de tal manera que la fracción vaporizada se recircula al fondo de la columna y se mantenga en un flujo ascendente a través de la columna. La fracción no vaporizada se remueve como producto de fondo. Frias (2013).

Proceso de destilación de etanol con cinco columnas.

La materia prima vino (entre 6 y 7 % Alcohol V/V), se precalienta hasta alcanzar 70 – 80°C. El vino caliente se alimenta a la columna de agotamiento (**Columna destiladora o destrozadora**) simple con desgasificación. La destiladora se mantiene bajo vacío, esto representa varias ventajas: Disminuir los peligros de incrustación por precipitación de sales de calcio, y permitir funcionar en doble efecto y por último, mejorar considerablemente la extracción de gases disueltos en el mosto, tales como CO₂, o varios incondensables que se eliminan a través del colector de vacío. El alcohol integral o centro pasa bajo forma de vapor a la columna de (**alto grado**). En esta se concentra sobre 85 % V/V. El alcohol centro luego de intercambiar calor se lleva a la columna **depuradora** donde se efectúa una depuración del alcohol por medio de un lavado con agua y vapor, con el fin de eliminar las impurezas volátiles a baja concentración alcohólica, aprox. de 15 a 20 % Alcohólico o Grados GL. Esta columna trabaja en dos secciones (hidroselección y eliminación de fusel). De esta etapa sale el alcohol a 15/20°GL. El alcohol centro llega a la **rectificadora**,

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

donde se concentra hasta 96,3 0 G.L. Este alcohol centro se extrae lateralmente de unos platos por debajo de la cabeza de esta columna. La última etapa del sistema de destilación es la eliminación de metanol en la columna **desmetilizadora**. Donde se eliminan las impurezas volátiles a alta concentración alcohólica, tales como metanol. Finalmente el alcohol producto se extrae por el pie de la columna. Penín (2016)

Ventajas que presenta la tecnología utilizada para el proceso de Destilación

Debido a que la industria tiene acoplado 5 columnas de destilación se puede completar el proceso de destilación desde la destiladora hasta la desmetilizadora lo que permite reconocer las siguientes ventajas:

1. Existe un ahorro sustancial de energía porque se aprovecha el calor con que viene el vino que al pasar por el condensador se calienta y cuando entra a la primera columna se necesita menos vapor. Penín (2016)
2. El sistema cuenta con una recirculación de vapor contribuyendo al aprovechamiento de la energía en las columnas. Penín (2016)
3. La existencia de una columna desmetilizadora que permite el lavado del metilo para obtener alcohol extra fino separándolo del metanol. Penín (2016)
4. El sistema es muy eficiente por contar con una columna destiladora donde excepcionalmente hay una pérdida de alcohol en la vinaza. Penín (2016)

Conclusiones Parciales Del Capítulo.

1. Debido al calentamiento global y al agotamiento de los combustibles fósiles, el uso del etanol como biocombustible representa una solución tanto económica como ecológica.
2. Las melazas de caña de azúcar son las materias primas fundamentales para la obtención de alcohol extrafino en destilerías cubanas.
3. La utilización de jugos de los filtros, como sustituto de una parte de la miel tiene un buen rendimiento y una buena eficiencia, por lo que se considera beneficioso para el proceso de obtención de alcohol extrafino.
4. Las variables principales de la fermentación alcohólica a controlar son: el pH, la temperatura y el conteo celular en los fermentadores.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

5. Los sistemas de destilación para obtener alcohol extrafino deben ser al menos de 5 columnas, con un esquema energético que garantice menor consumo de combustible.

Capítulo II Diseño de la destilería de etanol usando miel final y jugos de los filtros.

2.1 Caracterización del Ingenio "5 de Septiembre y sus posibilidades de integración con la producción de etanol.

Ubicación Geográfica:

La Fábrica Azucarera "5 de Septiembre" está situada al noroeste de la provincia de Cienfuegos, cerca del poblado de Turquino en el municipio de Rodas, Km. 208 de la Autopista Nacional. Limitan sus áreas cañeras por el norte con el río Hanabana, límite de la provincia de Cienfuegos con Villa Clara, hacia el sur con el poblado de Rodas y áreas cañeras de la Empresa Azucarera 14 de Julio hacia el este con plantaciones de las Empresas Azucareras Ciudad Caracas, Elpidio Gómez y la Granja Agropecuaria Ramón Balboa, al oeste con la Pecuaria Aguada y áreas de la Empresa Agropecuaria 1ro de Mayo.

Esta se proyectó para procesar una norma potencial de 6 900 t/d con un tiempo perdido del 15 %, área cañera de 15 298 ha, y un estimado a moler de 822 250 t con rendimientos promedio de 75 000 t /ha. Con sistema de riego. Es capaz de procesar todas sus cañas en un período de 160 días con una norma operacional de 5 865 t /d, un rendimiento industrial promedio del 12 % y una producción de 741 t/d de azúcar. Los suelos son aptos para el cultivo en un 92 % y es mecanizable al 78 %.

En estos momentos su norma potencial es de 5000 t/d y norma operacional de 3 910 t/d, debido ajustes por redimensionamiento por la disponibilidad de caña. Es capaz de procesar todas sus cañas en un período de 113 días con una norma operacional de 3 910 t/d un rendimiento industrial promedio del 11,20 % y una producción de 620 t/d de azúcar, proveniente de un área cañera de 13 186,3 ha y un estimado a moler de 441 630 t/d, además lleva a zafra el 75 % del área estimada en junio 30, con rendimientos promedio de 45,0 t/ha. Los suelos de la empresa son aptos para el cultivo en un 100 % y es mecanizable al 100 %.

La estructura formal era muy amplia y con varios niveles de dirección, al no ser muy operativa, lo que dio lugar en enero de 1999 a la creación de las Unidades Empresariales de Base según Resolución 152/99 del Ministro del Azúcar. Con el Proceso de Reordenamiento del Ministerio del Azúcar (Tarea Álvaro Reinoso) a partir del año 2003 según la Resolución No. 04/2003 del 7 de enero del Ministro del Azúcar, en su

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero “5 de septiembre”

Resuelvo Quinto cambia la denominación del Complejo Agroindustrial “5 de Septiembre” por Fábrica Azucarera “5 de Septiembre”. Con la aplicación de la Tarea Álvaro Reinoso se diseña una nueva empresa que tiene la característica de implantar una estructura más simple y plana, lo cual permite que sea más funcional, para facilitar su gestión y hacerla más eficiente.

2.2 Potencialidad del ingenio para la producción de etanol.

El ingenio posee una capacidad nominal de 5000 t/d de caña para una producción de 620 t/d de azúcar. El porcentaje de aprovechamiento de la capacidad potencial es de 85%. Dispone de un volumen de jugos de los filtros de 727,5 t/d y posee una producción de 206 t/d de miel final.

2.3 Descripción literal del proceso

2.3.1 Recepción de la Materia Prima.

El jugo de los filtros proveniente del ingenio se almacena en un tanque de diario y se deja refrescar hasta el momento de su mezcla para su uso en la fermentación principal.

La miel, procedente de los depósitos generales de almacenamiento, pasa al área de pesaje, es pesada en una tolva receptora de miel y es bombeada al tanque de almacenamiento de miel por la bomba (P-201), el jugo caliente es bombeado hacia los intercambiadores de calor de placas para enfriarlo hasta 32 °C, luego se envían hacia el primer mezclador para su mezcla con miel y de esta forma ajustar el Brix al valor deseado en fermentación, son bombeados mediante las bombas (P-204), estas bombas son típicas en el uso de líquidos muy viscosos y de alta densidad por lo que han de ser de desplazamiento positivo.

2.3.2 Preparación de mostos.

El objetivo de la sección de preparación del mosto en el proceso de fabricación de alcohol es adecuar la melaza para obtener el máximo rendimiento en la transformación del azúcar contenida en la melaza y en los jugos filtrados, en alcohol, durante el proceso de fermentación. Esta etapa consta de tres momentos fundamentales:

- Pasteurizar la mezcla de miel final con jugos de los filtros.
- Diluirla a una concentración adecuada (El mosto de 16°Brix en las cubas madres y el de 24°Brix se utilizará en la fermentación).

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

- Acidular y añadir los nutrientes necesarios para una perfecta fermentación (Se mantendrá un pH de 4-4.5 mediante inyección de H₂SO₄).

En el mezclador (MX-313) se mezclan las corrientes de miel final y jugos de los filtros. Luego la mezcla prediluida a 40°Brix entra al filtro rotatorio (F-303) donde se eliminan las impurezas sólidas que trae la mezcla, las cuales perjudican la calidad del mosto y por consiguiente la calidad en la fermentación y la obtención del producto final.

La mezcla previamente diluida pasa al tanque de recepción (D-302) donde se le adiciona el Ácido Sulfúrico (2,76 g/l) para disminuir el pH del medio y así evitar la propagación de microorganismos y favorecer la inversión de la sacarosa. De aquí una parte es bombeada por la bomba (P-317) al depósito (D-301) donde a la entrada de este se pone en contacto con vapor directo proveniente de la caldera que pasa por el eyector (E-310), donde se eleva la temperatura alrededor de 80 o 90°C. La temperatura a alcanzar está en dependencia del grado de infección que se haya observado anteriormente en el proceso de fermentación, es decir el objetivo es esterilizar el mosto para eliminar el número de células no deseables o al menos lograr que sea el menor posible. Además se debe conjugar la calidad de la mezcla y el óptimo entre rendimiento de fermentación y gasto de vapor. Este mosto se traslada hacia el intercambiador de calor (E-314) con el objetivo de enfriarlo a 30 o 35°C, al cual se alimenta agua procedente de las torres de enfriamiento como medio de intercambio de calor.

El mosto a menor temperatura pasa al mezclador (MX-318), al cual se le alimenta agua tratada con el objetivo de diluirlo a 16°Brix, para luego alimentarlo a las cubas madre.

La otra parte del mosto que se encuentra en depósito (D-302) pasa al intercambiador de calor (E-350) donde disminuye la temperatura alrededor 30 o 35°C, para luego llevarlo al mezclador (MX-316) al cual se le alimenta agua tratada para lograr la dilución de la mezcla hasta a 22°Brix para ser alimentado a las cubas hijas o fermentadores.

A la salida de los mezcladores se le suministra al mosto los nutrientes necesarios ricos en fósforo y nitrógeno necesarios en la etapa de fermentación. Penín (2016)

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

2.3.3 Fermentación.

La fermentación escogida es la semicontinua, es decir, cada cuba trabaja separadamente y desplazada en el tiempo de tal forma que continuamente se está alimentando con mosto fermentado la sección de destilación, mientras que la cuba madre trabaja siempre en continuo simultáneamente.

Ver diagrama de flujo de la etapa Fermentación en el Anexo 3.

El líquido procedente de la preparación del mosto se divide en dos partes, uno que va a las cubas de fermentación (mosto fuerte) y otro que alimenta a las cubas madres (mosto de baja concentración). El objeto de la cuba madre es preparar un inóculo o pie de levadura para alimentar a las cubas hijas, en mismo representa el 20-25% del volumen total.

Las cubas irán tapadas y estarán provistas de bomba de agitación y enfriamiento en sistema exterior. El proceso dispondrá de dos cubas Madres o de propagación de levadura autóctona.

En el proceso de fermentación el mosto a 16°Brix se añade a la cuba madre (depósito D-400) a una temperatura de 30°C y con inyección de aire continuo, con el soplante (S-401), esto es muy importante porque favorece la proliferación de levaduras. La formación de levadura disminuye el contenido de azúcar por lo que se ha de alimentar constantemente con mosto. Este proceso es enfriado para mantener la temperatura cerca de los 30°C, por el intercambiador de calor (E-430). El tiempo de retención oscila entre 8 y 10 horas, para mantener una población de levadura superior a los 300 millones de células por mililitros y adaptada al medio alcohólico.

La entrada del mosto es regulada por la válvula (V-413) en el depósito (D-402) (cuba hija) donde después de estar su densidad baja debido a la fermentación se añade el mosto de 22°Brix por la (V-415) a un 30-40% de su totalidad continuando la fermentación pero con nueva alimentación, este procedimiento es enfriado por el E-431 y bombeado por la (P-402) la que circula el vino por el (E-431) según lo indiquen los controles de temperaturas, en el mismo momento se abrirá la (V-404) de salida de CO₂ según lo requiera, y transcurrido un tiempo (cuando el Brix sea la mitad +1 del inicial) se completa el volumen de trabajo del fermentador. Aproximadamente cada 4 horas se

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

inocula un fermentador, con mosto procedente de la cuba madre, el 25% de su volumen total trabajo.

Durante el tiempo que se está efectuando la fermentación en el (D-402), se le suministrara mosto de 16°Brix al depósito (D-408) de la misma manera que el anterior, y así sucesivamente se va realizando el procedimiento para los 10 fermentadores instalados en la planta, este proceso semicontínuo en la sala de fermentación, con un ciclo de fermentación entre las 35 a 40 horas, garantiza la existencia de fermentadores muertos en espera para ser destilados y así no ocasionar paradas en la fábrica, ya que en general la misma opera a régimen continuo.

El mosto fermentado o VINO de los fermentadores ya muertos y que han tenido un reposo de 1 a 2 horas es bombeado a la etapa de destilación de inmediato. Los fondajes de los fermentadores se separan y se bombean hacia la unidad de recuperación ya que se utiliza como pienso animal.

Los fermentadores al ser destilados son sometidos a un proceso de limpieza y esterilización para comenzar nuevamente el ciclo de fermentación. Penín (2016)

2.3.4 Destilación–Rectificación.

En el proceso de destilación la materia prima es el vino que se encuentra entre 6 y 7% Alcohol v/v, este penetra en el calentador de vino (E-525) con una temperatura de 35°C, donde se aumenta hasta 70°C aproximadamente, a fin de disminuir la cantidad de vapor necesario en la columna destrozadora (C-510). Una vez el vino caliente a su caudal medido y regulado penetra en la columna (C-510). Esta es una columna de agotamiento (columna destiladora o destrozadora) simple con desgasificación.

Con el fin de disminuir los peligros de incrustación y de poder funcionar en doble efecto, esta columna se mantiene bajo vacío (400 mmHg), esto representa varias ventajas, entre ellas, como ya se ha dicho, la de disminuir los peligros de incrustación por precipitación de sales de calcio, ya que la temperatura promedio de la columna es de 80°C estando por debajo de la temperatura de precipitación de dichas sales que es superior a los 85°C, y mejorar considerablemente la extracción de gases disueltos en el mosto, tales como CO₂, o varios incondensables que se eliminan a través del colector de vacío.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Las vinazas salen por el pie de la columna (C-510) a través del sello hidráulico (B-512).

El alcohol integral o centro pasa bajo forma de vapor a la columna (C-520) o de alto grado. En esta columna se concentra el alcohol sobre 85% v/v, antes de pasar a la (C-536).

Los vapores producidos en esta columna se condensan en el conjunto (E-525 A/B), (E-526) y (E-528). Los condensados se dividen en dos: una parte representa el reflujo y la otra el alcohol centro. Este alcohol centro se lleva a donde se efectúa una depuración del alcohol por medio de un lavado con agua y vapor, con el fin de eliminar las impurezas volátiles a baja concentración alcohólica, aproximadamente de 15 a 20% Alcohólico o Grados GL.

La columna (C-536) está compuesta por dos columnas, a saber: Los primeros platos constituyen la columna de hidroselección propiamente dicha, seguida de un decantador en caliente de aceites de fusel; los platos superiores constituyen la columna de cabezas.

Los vapores alcohólicos producidos por la columna (C-536) se condensan en el (E-550) y (E-552). Los condensados producidos se dividen en dos partes que constituyen el reflujo y las extracciones de cabezas (6-8%) recíprocamente.

El alcohol centro sale por el pie de la columna (C-536) a una concentración de 15-20°GL. Esta concentración alcohólica se obtiene mediante un abundante riego proveniente de las flemazas de la rectificadora (C-540).

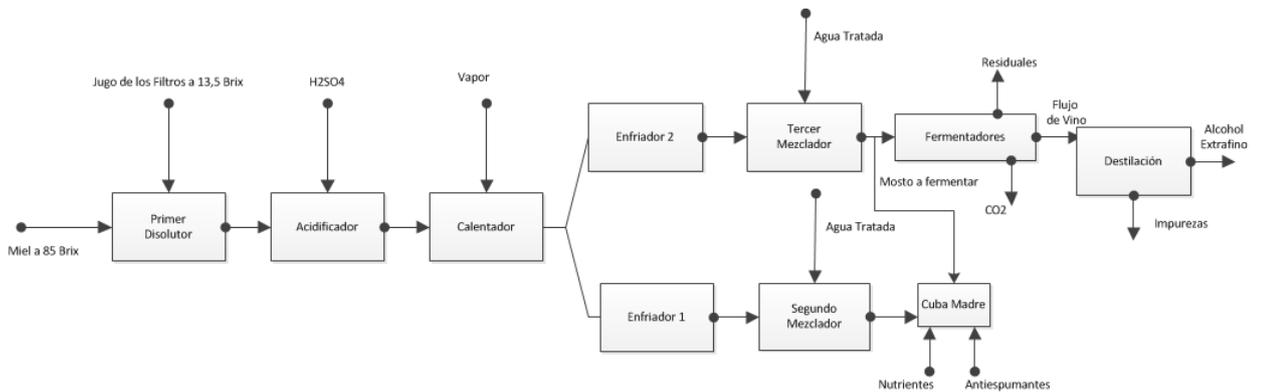
El primer condensador de esta columna, (E-536) es a la vez ebullidor de la columna desmetilizadora (C-550), aprovechándose así las calorías para destilar el metanol de forma similar al conjunto (C-510) / (C-540).

El alcohol lavado (15-20% v/v) llega a la rectificadora (C-540), impulsado por la bomba (P-531), donde se concentra hasta 96,3°GL. El alcohol pasteurizado (88-90%) se extrae lateralmente de unos platos por debajo de la cabeza, del reflujo de la cabeza se extrae las primas (1,5-2%), además se extraen las colas bajas y altas que son retrogradadas al decantador de amílico y la columna lavadora respectivamente. Los vapores alcohólicos producidos por esta columna se condensan en el grupo (E-510), (E-511) (siendo (E-510) el ebullidor de (C-510)).

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

El alcohol pasteurizado procedente de la columna rectificadora (C-540) son alimentados en el centro de la columna desmetilizadora (C-550), el alcohol centro se extrae por el fondo y las impurezas metílicas (1,5-2%) se extraen por el reflujo de la cabeza. Penín (2016)

Diagrama de Bloques del proceso.

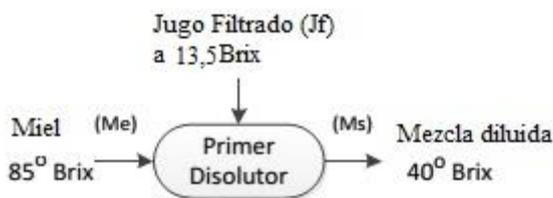


2.4 Balance de masa del proceso:

2.4.1 Balance de masa en la sección de fermentación.

Alternativa Media: Con uso del 70% de jugo de los filtros.

Balance en el Primer Mezclador.



Donde:

Me: Flujo de miel que entra al Primer mezclador.

Jf: Flujo de Jugo de los filtros que entra al Primer Mezclador

Ms: Flujo de mezcla que sale del primer disolutor.

Datos

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Corriente	Valor	U/M
$\rho(\text{miel})$ 85°Brix a 30°C	1440,80	kg/m ³
$\rho(\text{miel})$ 40°Brix a 30°C	1176,51	kg/m ³
BxMe	85	°Brix
BxMs	40	°Brix
Toneladas de Jugo de los filtros que produce el ingenio.	727,5	t/d
Miel Necesaria	266,r	t/d
Densidad del jugo	1048,06	Kg/m ³

Nota la densidad se buscó en ONCON (1952).

$$J_f = 0,7 * 727,5 \text{ t/día} \quad (2.1)$$

$$J_f = 509,25 \text{ t/día} \quad (2.2)$$

Balance Total:

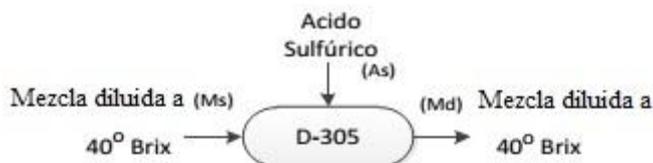
$$M_e + J_f = M_s \quad (2.3)$$

$$\text{ART necesarios} = 100 / \text{Lap} / 100 \text{ Kg ART}^* \text{ Producción Lap/d} \quad (2.4)$$

$$\text{ART aportado por la miel} = \text{ART necesarios} - \text{ART aportado por el jugo} \quad (2.5)$$

$$\text{ART aportado por el jugo} = \% \text{ART en Jugo Filtros} / 100 * \text{flujo de jugo de los filtros} * 100 * 1000 \quad (2.6)$$

Balance en el Depósito D-305 (Acidificación de Mosto)



Donde:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

As: Consumo de Ácido sulfúrico.

Ms: Mezcla que sale del Primer Disolutor.

Md: Mezcla Diluida a la salida del Depósito.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
Índice de consumo de Ácido Sulfúrico	2,75	kg/Hl
$\rho(\text{Ácido Sulfúrico})$	1840,00	kg/m ³

Balance Total:

$$M_s + A_s = M_d \quad (2.5)$$

El flujo de miel diluida que sale del depósito D-302, una parte alimenta al segundo disolutor (Md1), y la otra parte pasa al tercer disolutor (Md2).

Balance en el tercer Mezclador.



Donde:

Md₁: Flujo de miel que entra al segundo disolutor.

Ag₂: Consumo de Agua.

Mf: Flujo de Mezcla que sale del segundo disolutor.

Bx_{Md1}: Brix de la mezcla diluida que entra al segundo disolutor.

Bx_{Mf}: Brix de la mezcla que sale del segundo disolutor.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Datos:

Corriente	Valor	U/M
$\rho(\text{miel})$ 22°Brix a 30°C	1086,54	kg/m ³
BxMd ₁	40	°Brix
BxMf	22	°Brix

Balance Total:

$$Md_1 + Ag_2 = Mf \quad (2.6)$$

$$ARF \text{ presentes en jugo} = ART_{(\text{jugo})} - ARNF_{(\text{jugo})} \quad (2.7)$$

$$ARF \text{ presentes en la miel} = ART_{(\text{miel})} - ARNF_{(\text{miel})} \quad (2.8)$$

$$ARF_{(\text{mezcla})} = ARF_{(\text{miel})} + ARF_{(\text{jugo})} \quad (2.9)$$

$$\text{Factor de dilución (fd)} = \frac{\text{Brix final}}{\text{Brix inicial}} \quad (2.10)$$

$$\% ARF_{(\text{finales})} = fd * (ARF_{(\text{mezcla})} / 100) \quad (2.11)$$

$$Mf = ART_{(\text{Necesario})} / \% ARF_{(\text{finales})} \quad (2.12)$$

Balance Parcial de sólidos

$$Md_1 * BxMd_1 = Mf * BxMf \quad (2.13)$$

Despejando la ecuación (2.13) se obtiene la corriente Md1.

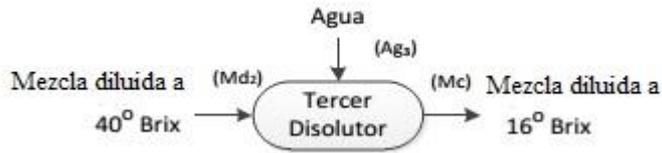
$$Md_1 = Mf * BxMf / BxMd_1 \quad (2.14)$$

Para calcular el flujo de agua necesario se despeja de la ecuación (2.6).

$$Md_1 - Mf = Ag_2 \quad (2.15)$$

Balance en el Segundo Mezclador.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``



Donde:

Md_2 : Flujo de mezcla que entra al tercer mezclador.

Mc : Flujo de mosto que entra a la cuba madre.

Ag_3 : Consumo de agua.

Bx_{Md2} : Brix de la mezcla que entra al mezclador.

Bx_{Mc} : Brix de la mezcla diluida que sale del mezclador.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
$\rho(\text{miel})$ 16°Brix a 30°C. Frías (2013)	1060,37	Kg/m^3
Bx_{Md2}	40	°Brix
Bx_{Mc}	16	°Brix

Para determinar el flujo de mezcla que entra al tercer mezclador (Md_2):

$$Md = Md_1 + Md_2 \quad (2.16)$$

Despejando la ecuación (2.15) se obtiene Md_2 .

$$Md_2 = Md - Md_1 \quad (2.17)$$

Balance Parcial:

$$Md_2 * Bx_{Md2} = Mc * Bx_{Mc} \quad (2.18)$$

Despejando de la ecuación (2.18) se obtiene el flujo de mezcla diluida que sale del tercer mezclador.

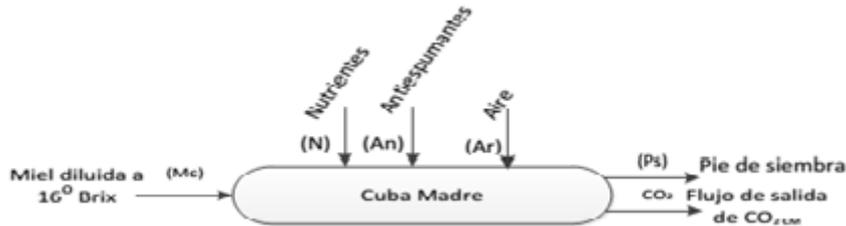
Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

$$M_c = M_{d2} * B_x M_{d2} / B_x M_c \quad (2.19)$$

Despejando de la ecuación (2.19) se obtiene el flujo de agua necesario en el disolutor.

$$A_{g3} = M_c - M_{d2} \quad (2.20)$$

Balance en la cuba madre:



Donde:

Mc: Mezcla diluida que entra a la cuba madre.

N: Consumo de nutrientes.

An: Consumo de antiespumantes.

A: Aire.

Ps: Flujo de mosto que sale de la cuba madre.

CO₂: Flujo de salida de CO₂ de la cuba madre.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
índice de consumo de Antiespumantes	0,21	kg/Hl
Índice de consumo de Nutrientes	0,80	kg/Hl
densidad de los nutrientes	1.100,00	kg/m ³
Rendimiento	42,00	%
ART	56,00	%
ARF	52,500	%
ARNF	3,500	%

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Concentración de levadura(Cv)	5,00	kg/m ³
% alcohólico en el pie de siembra (%Al)	3,5	%
ρ(alcohol) a 20°C	0,798	kg/l

Para determinar la levadura Producida en la cuba madre:

$$L_v = M_c * C_v \quad (2.21)$$

Para determinar los azúcares reductores Fermentables utilizados en la producción de levadura.

$$ARF_{L_v} = L_v / Rend \quad (2.22)$$

Para determinar el consumo de miel necesario para producir la levadura.

$$M_{L_v} = \frac{ARF_{L_v}}{ARF_{mezcla}} \quad (2.23)$$

Para determinar los Solidos no Azucres Fermentables presente en la cuba madre.

$$SNA = (Bx_{mezcla} - ART_{mezcla}) * FDCM \quad (2.24)$$

$$FDCM = Bx_{M_c} / Bx_{M_e} \quad (2.25)$$

Donde:

FDCM: Factor de dilución de la cuba madre.

Bx_{M_c}: Brix de la mezcla que entra a la cuba madre.

Bx_{M_e}: Brix de la miel que entra al proceso.

Para determinar los Azucres Reductores Fermentables utilizados en la producción de alcohol.

$$ARF_{ALCM} = Al_{CM} / Rend \quad (2.26)$$

Donde:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

ARF_{AL}: Azúcares Reductores Fermentables Presentes para producir alcohol.

Al_{CM}: Alcohol producido en la Cuba Madre.

$$ARF_{AL} = Al_{CM} / Rend \quad (2.27)$$

Para determinar el alcohol producido en la cuba madre.

$$Al_{CM} = Mc * \% Al \quad (2.28)$$

Para determinar el CO₂ producido en la cuba madre.

$$CO_{2 (CM)} = ARF_{Al} * 48,8\% \quad (2.29)$$

Balance de Energía en la cuba madre.

Para determinar la energía que se genera con la producción de levadura.

$$E_{LV} = L_V * C_{pLV} \quad (2.30)$$

Para determinar la energía que se genera en la producción de alcohol.

$$E_{AICM} = Al_{CM} * C_{pAICM} \quad (2.31)$$

Para determinar la energía total que se genera en la cuba madre.

$$E_T = E_{LV} + E_{AICM} \quad (2.32)$$

Datos:

Corriente	Valor	U/M
Potencial calórico levadura	2800,00	kJ/Kg
Potencial calórico del alcohol	117,00	kJ/Kg

Para determinar la masa de antiespumantes:

$$An = 0,08 \frac{kg}{Hl} * P \quad (2.33)$$

Para determinar la masa de Nutrientes:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

$$N=0,65 \frac{kg}{Hl} * P \quad (2.34)$$

Balance en el Fermentador:



Donde:

M: Flujo de mosto que sale de la cuba madre y del segundo mezclador.

Fv: Flujo de vino que alimenta la sección de destilación.

R: Residuales sólidos.

CO_{2F}: Dióxido de carbono producido en los fermentadores.

Balance Total:

$$M=FV+CO_{2F}+R \quad (2.35)$$

Para determinar los Azúcares reductores fermentables en el mosto de salida del segundo disolutor.

$$ARF_{(F.alim)} = \frac{(M * \%ARF(F))}{100} \quad (2.36)$$

$$\%ARF_{(F)} = FD_F * ARF_{miel} \quad (2.37)$$

Para determinar los Azúcares Reductores Fermentables en el pie de sombra proveniente de la cuba madre.

$$ARF_{(PS)} = \frac{PS * \%ARF(PS)}{100} \quad (2.38)$$

$$\%ARF_{(PS)} = FD_{CM} * ARF_{miel} \quad (2.39)$$

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Para determinar los Azúcares Reductores Fermentables Totales en el Fermentador.

$$ARF_{(T)}=ARF_{(F.alim)} + ARF_{(Ps)} \quad (2.40)$$

Para determinar los Azúcares Reductores Fermentables necesarios en los fermentadores para producir levadura.

$$ARF_{(Lv.F)}=Lv/Rend \quad (2.41)$$

Para determinar los Azúcares Reductores Fermentables en la salida del vino.

$$ART_{Fv}=Fv*\% ARF_{Fv} \quad (2.42)$$

$$ARF_{Fv}=ART_{Fv}- ARNF_{(entrada)} \quad (2.43)$$

Para determinar los Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción del alcohol.

$$ARF_{Alc.F}=ART_T-(ART_{Fv}+ART_{Lv}) \quad (2.44)$$

Para determinar el alcohol producido en los fermentadores.

$$Al=M*\% Al \quad (2.45)$$

Para determinar el alcohol total producido.

$$Al_T = Al_{CM}+ Al_F \quad (2.46)$$

Para determinar el CO2 producido en la cuba madre.

$$CO_{2(F)} = ARF_{Alc.F}*48,8\% \quad (2.47)$$

Despejando y sustituyendo en la ecuación (2.31) obtenemos el flujo de residuos sólidos de levadura en los fermentadores.

$$R=M-(Fv+CO_{2F}) \quad (2.48)$$

Donde:

$ARF_{(F.Alim)}$:Azúcares Reductores Fermentables en el mosto de salida del segundo disolutor.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

$\%ARF_{(F)}$: Por ciento de ARF en la alimentación del fermentador.

$ARF_{(Ps)}$: Azúcares Reductores Fermentables en el mosto del pie de siembra.

$\% ARF_{(Ps)}$: Por ciento de ARF en el pie de siembra.

$ARF_{(T)}$: Azúcares Reductores Fermentables Totales en la alimentación del fermentador.

$ARF_{(Lv.F)}$: Azúcares Reductores Fermentables necesarios para producir levadura en el fermentador.

$ART_{(Fv)}$: Azúcares Reductores Totales en el mosto de salida del fermentador.

$ARF_{(Fv)}$: Azúcares Reductores Fermentables en el mosto de salida del fermentador.

$\% ARF_{(Fv)}$: Por ciento de ARF en el mosto de salida del fermentador.

$ARF_{(Alc.F)}$: Azúcares Reductores Fermentables necesarios para producir alcohol en el fermentador.

$Al_{(F)}$: Flujo de alcohol producido en los fermentadores.

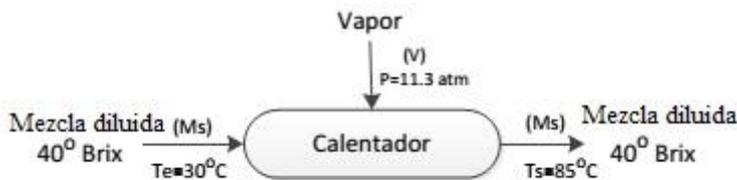
$Al_{(T)}$: Flujo total de alcohol producido.

CO_2 : Dióxido de carbono producido en los fermentadores.

Para determinar la energía que se genera con la producción del alcohol (fermentador).

$$E_{AIF} = Al_F * Cp_{AICM} \tag{2.49}$$

Balance en el Eyector



Para determinar el flujo de vapor necesario para calentar el mosto que alimenta el segundo disolutor.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

$$M_s \cdot C_p \cdot \Delta T = V \cdot \lambda_v \quad (2.50)$$

Donde:

M_s : Flujo de mezcla a 40 °Brix.

T_e : Temperatura de entrada del flujo de miel diluida a 40°Brix.del eyector.

T_s : Temperatura de salida del flujo de miel diluida a 40°Brix al eyector.

V : Flujo de vapor del eyector.

λ_v : Calor específico de vaporización a una presión de 11,3 atm.

C_p : Calor Específico de la miel diluida.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
Temperatura de entrada	40,00	°C
Temperatura de salida	85,00	°C
λ_v (Pavlov,(1981))	2004,80	kJ/kg

Para determinar el C_p de la miel.

$$C_p = 1 - (0,0056 \cdot \text{Brix}) \quad (2.51)$$

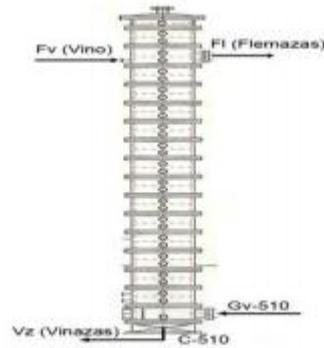
Despejando en la ecuación 2.47 para obtener el flujo de vapor.

$$V = \frac{M_s \cdot C_p \cdot \Delta T}{\lambda_v} \quad (2.52)$$

2.4.2 Balance de masa y energía en la sección de Destilación.

Columna C-510 (destiladora trabaja al vacío $P=400\text{mmHg}$)

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``



Balance total en la columna C-510.

$$Fv + Gv_{510} = Vz + Fl \quad (2.53)$$

Balance Parcial.

$$Fv \cdot X_{Fv} = Vz \cdot X_{Vz} + Fl \cdot X_{Fl} \quad (2.54)$$

Donde:

Fv (Vino): Flujo másico de vino caliente.

Fl (Flemazas): Flemas alcohólicas que salen de la columna C-510.

Vz (Vinazas): Vinazas de la columna C-510.

Gv_{510} : Flujo de vapor del ebullidor.

X_{Fv} : % alcohólico que tiene el vino.

X_{Fl} : % alcohólico que tienen las flemas.

X_{Vz} : % alcohólico que tienen las vinazas.

Suponiendo que $X_{Vz} = 0$, se obtiene el valor de Fl .

Sustituyendo en la ecuación (2.49) se obtiene Vz .

$$Vz = (Fv + Gv) - Fl \quad (2.55)$$

Balance total de alcohol.

$$Qm = Fv \cdot X_{Fv} \quad (2.56)$$

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

$$F_v = (\rho_{\text{vino a } 80^\circ\text{C}}) * V_{\text{vino}}. \quad (2.57)$$

Donde:

Q_m: Flujo másico alcohólico vino.

X_v: % alcohólico vino.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
F _v (a 80°C)	64.2	m ³ /h
X _{Fv}	6	°GL
	47758	% peso
X _{Fl}	38	°GL
	32,059	% peso
Densidad de F _v (a 80°C)	972	kg/m ³

Nota: La densidad se buscó en el Pávlov (1981).

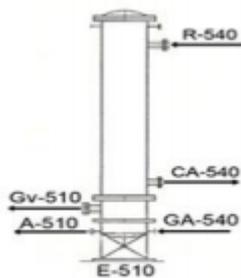
Calculando F_l mediante un balance de parcial de % alcohólico.

$$F_v * X_{Fv} = F_l * X_{Fl} \quad (2.58)$$

Despejando F_l de la ecuación (2.54), se tiene que:

$$F_l = \frac{F_v * X_{Fv}}{X_{Fl}} \quad (2.59)$$

Ebullidor E-510 (Condensador –Rehervidor).



Donde:

A₋₅₁₀=Agua que sale del ebullidor.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

GA-510=Flujo de Agua de la C-540.

Gv-510=Flujo de vapor del ebullidor.

CA-510=Condensado alcohólico.

R-540=Reflujo de la torre C-540.

Balance total del Ebullidor.

$$R_{540} + GA_{540} = Gv_{510} + CA_{540} + A_{510} \quad (2.60)$$

Despejando en la ecuación (2.56) se obtiene la corriente Gv-510.

$$Gv_{510} = (R_{540} + GA_{540}) - (CA_{540} + A_{510}) \quad (2.61)$$

Datos:

Corriente	Valor	U/M
R-540	25,1	m ³ /h
Densidad de R-540 (94,9°C)	719,7267	kg/m ³
R-540*ρ	18.065,14	kg/h

Nota: La densidad se buscó en el Pávlov (1981).

Para determinar la corriente GA-540 del balance en la torre C-540 se tiene que:

$$GA = W_{536} - (R_{540} + D_{540}) \quad (2.62)$$

$$GA_{540} * (H_{GA-540} - H_{A-510}) = A_{510} * \lambda_{510} \quad (2.63)$$

Despejando de la ecuación (2.59) se obtiene que:

$$A_{510} = (GA_{540} * (H_{GA-540} - H_{A-510})) / \lambda_{510} \quad (2.64)$$

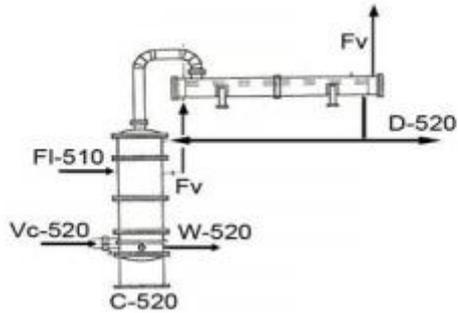
Datos

Corriente	Valor	U/M
HGA-540 (a 120°C y 2 atm)	504	kJ/kg
HA-510 (a 80°C y 0,52 atm)	342,61	kJ/kg
λA-510 (a 80°C y 0,52 atm)	2.304,18	kJ/kg

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Nota: Datos obtenidos en (Pavlov,(1981)).

Columna C-520 (Preconcentradora al vacío P=450 mmHg).



Donde:

FI-510: Flemas alcohólicas que salen de la C-510

Vc-520: Vapor directo a C-520.

D-520: Condensado alcohólico.

W-520: Vinazas de la C-520.

Fv: Agua de enfriamiento

VC: Vapor producido por la caldera.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
XFI-510	38	°GL
	32,059	% peso
XD-520	72	°GL
	66,8818	% peso
VC	20.000	kg/h

Balance total de la columna C-520.

$$FI_{510} + VC_{520} = D_{520} + W_{520} \quad (2.65)$$

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Mediante un balance parcial de alcohol se determina el flujo de la corriente D-520.

$$F_{I510} * X_{F_{I510}} = D_{520} * X_{D-520} \quad (2.66)$$

Despejando de la ecuación (2.62):

$$D_{520} = \frac{F_{I510} * X_{F_{I510}}}{X_{D-520}} \quad (2.67)$$

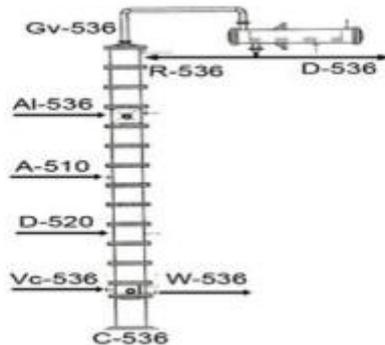
El vapor directo que entra en esta columna es el 5% del vapor producido por la caldera, por tanto para determinar la corriente Vc-520.

$$V_{C520} = 0,05 * VC \quad (2.68)$$

Despejando de la ecuación (2.61) se tiene la corriente W-520.

$$W_{520} = F_{I520} + V_{C520} - D_{520} \quad (2.69)$$

Columna C-536 (Hidroselectora a presión atmosférica).



Donde:

Gv-536: Vapores que salen por el tope de la C-536.

R-536: Reflujo de la C-536.

D-536: Extracción de cabeza.

Al-536: Agua que entra a C-536.

A-510: Agua que sale del E-510.

D-520: Condensado alcohólico de la C-520.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Vc-536: Vapor directo a C-536.

W-536: Destilado que sale de la torre C-540.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
R-536(a 60°C)	2,6	m ³ /h
XW-536	20	°GL
	16,057	% peso
Densidad de R-536(a 60°C)	755,436	kg/m ³
R-536(a 60°C)*Densidad de R-536(a 60°C)	1.964,134	kg/h

Nota: La densidad se buscó en el Pávlov (1981).

Para determinar la corriente D₋₅₃₆

$$\text{Por datos de fábrica } D_{-536} = 8\% * Q_m \quad (2.70)$$

Para determinar la corriente Al-536.

$$\text{Por datos de fábrica } Al_{-536} = 4\% * Q_m \quad (2.71)$$

Para determinar la corriente Gv₋₅₃₆.

$$Gv_{536} = R_{536} + D_{536} \quad (2.72)$$

Para determinar la corriente W₋₅₃₆.

$$W_{-536} * X_{w-536} = Q_m \quad (2.73)$$

Despejando de la ecuación (2.69) se obtiene que:

$$W_{-536} = Q_m / X_{w-536} \quad (2.74)$$

Efectuando un balance de energía para determinar la corriente Vc-536.

$$Vc_{536} * H_{Vc-536} + D_{520} * H_{D-520} + Al_{536} * H_{Al-536} = D_{536} * H_{D-536} + W_{536} * H_{w-536}. \quad (2.75)$$

Despejando de la ecuación (2.71) se tiene que:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

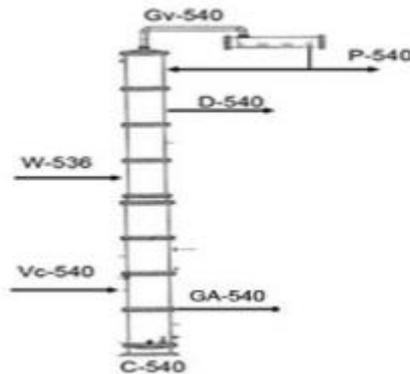
$$V_{C536} = \frac{(D536 * H_{D-536} + W536 * H_{W-536}) - (D520 * H_{D-520} + A1536 * H_{A1-536})}{H_{Vc-536}} \quad (2.76)$$

Para determinar las entalpias de las corrientes.

$$\text{Entalpía: } C_{pM} * (\text{Temperatura de la corriente}) \quad (2.77)$$

$$C_{pM} = (X_{\text{Agua}} * C_{p\text{Agua}}) + (X_{\text{alcohol}} * C_{p\text{Alcohol}}) \quad (2.78)$$

Columna C-540 (Rectificadora a presión atmosférica).



Donde:

Gv-540= Vapores alcohólicos.

W-536= Destilado que sale de la torre C-536.

Vc-540= Vapor directo que entra a C-540.

D-540= Destilado que sale de la torre C-540.

P-540= Extracción de las primas.

Corriente	Valor	U/M
XD-536	20	°GL
	16,2	% peso
XD-540	96,3	°GL
	95,45	% peso
XP-540	96,3	°GL
	95,45	% peso

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Mediante un balance parcial de alcohol se determina el flujo de la corriente D-540.

$$W_{536} * X_{W-536} = D_{540} * X_{D540} \quad (2.79)$$

Despejando de la ecuación (2.75) se tiene que:

$$D_{540} = W_{536} * X_{W-536} / X_{D 540} \quad (2.80)$$

Para determinar la corriente P-540.

$$\text{Por datos de fábrica } P_{540} = 2\% * Q_m \quad (2.81)$$

Para determinar la corriente Gv-536.

$$G_{v-536} = P_{540} + R_{540} \quad (2.82)$$

Efectuando un balance de energía para determinar la corriente Vc-540.

$$V_{C540} * H_{Vc-540} + W_{536} * H_{W-536} = G_{v-540} * H_{Gv-540} + D_{540} * H_{W-540} + GA_{540} * H_{GA-540} \quad (2.83)$$

Despejando de la ecuación (2.79) se obtiene que:

$$V_{C540} = \frac{(G_{v-540} * H_{Gv-540} + D_{540} * H_{W-540} + GA_{540} * H_{GA-540}) - (W_{536} * H_{W-536})}{H_{Vc-540}} \quad (2.84)$$

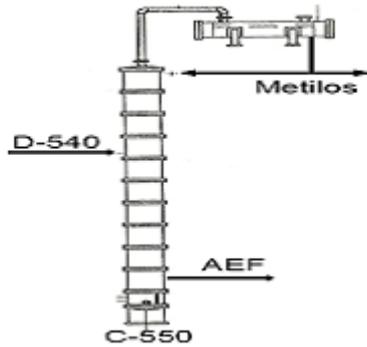
Datos:

Corriente	Valor	U/M
HGv-540	324,69	kJ/kg
CPGv-540 (a 94°C)	3,4214	kJ/kg*°C
HD-540	259,76	kJ/kg
CPGv-540 (a 80°C)	3,247	kJ/kg*°C

Nota: Los datos fueron tomados de Pávlov (1981).

Columna C-550 (Desmetilizador a vacío).

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``



Donde:

D-540: Destilado que sale de la C-540.

Metilos: Flujo de metanol.

AEF: Alcohol extrafino.

Datos:

Corriente	Valor	U/M
Densidad del alcohol (60°C)	754	kg/m ³

Nota: La densidad se buscó en el Pávlov (1981).

Balance total en la columna C-550.

$$D_{540} = \text{Met} + \text{AEF} \tag{2.85}$$

Determinado el flujo de metilos.

$$\text{Met} = 2\% * Q_m, \text{ dato de la empresa.} \tag{2.86}$$

Para determinar el flujo de alcohol extrafino despejamos de la ecuación (2.81).

$$\text{AEF} = D_{540} - \text{Met}. \tag{2.87}$$

Los resultados fueron obtenidos mediante la ayuda del software Microsoft Excel del paquete de Office.

Tabla de Resultados.

Sección de Fermentación:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

	Nombre		U/M
Jf	Jugo de los filtros que entra al primer disolutor	509,25	t/d
Me	Flujo de miel que entra al primer disolutor.	266,3	t/d
Ms	Flujo de mezcla que sale del primer disolutor.	749,57	t/d
As	Consumo de Ácido sulfúrico.	1,35	m ³ /d
Md	Flujo de mezcla diluida a la salida del depósito.	752,06	t/d
Mf	Flujo de mezcla que sale del segundo disolutor.	1233,78	t/d
Mc	Flujo de mosto que alimenta a la Cuba Madre.	183,70	t/d
M	Flujo de mezcla que alimenta el Fermentador.	1417,74	t/d
Md ₁	Flujo de mezcla que entra al segundo disolutor.	678,58	t/d
Ag ₂	Consumo de agua en el segundo disolutor.	556,72	m ³ /d
Md ₂	Flujo de mezcla que entra al tercer disolutor.	73,48	t/d
Ag ₃	Consumo de agua en el tercer disolutor.	110,57	m ³ /d
Ps	Flujo de mosto que sale de la Cuba Madre.	183,96	t/d
N	Consumo de Nutrientes.	0,189	t/d
An	Consumo de antiespumante.	0,07	t/d
CO ₂ CM	Flujo de CO ₂ que sale de la Cuba Madre.	7,48	t/d
ARF _{ALCM}	Azúcares Reductores Fermentables para producir alcohol en la Cuba Madre.	0,64	t/d
Al _{CM}	Alcohol producido en la Cuba Madre.	80,69	HI/d
Elv	Energía que se genera con la producción de la	2425421,	kJ/d

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

	levadura en la Cuba Madre.	478	
EAI.CM	Energía que se genera con la producción del alcohol en la Cuba Madre.	753333,2 155	kJ/d
ET	Energía total que se genera en la Cuba Madre.	3178754, 69	kJ/d
Fv	Flujo de vino que alimenta la sección de destilación.	1417,74	t/d
CO ₂ F	Dióxido de Carbono producido en los Fermentadores.	77,32	t/d
R	Residuales Sólidos.	7,02	t/d
Al _F	Flujo de alcohol producido en los fermentadores.	833,94	HI/d
Al _T	Flujo total de alcohol producido.	914,62	HI/d
CO ₂ F	Dióxido de Carbono producido en los fermentadores.	77,32	t/d
E _{ALF}	Energía que se genera con la producción del alcohol (fermentador).	7786136, 25	kJ/d
V	Flujo de vapor en el eyector	13,10	t/d

Resultados sección de destilación:

	Nombre	Valor	U/M
Fv	Flujo de vino que alimenta la sección de destilación.	59072,48	kg/h
Qm	Flujo másico de alcohol en el vino	3056,02	kg/h
Fl	Flemas alcohólicas que salen de la C-510	9459,24	kg/h
Vz	Vinazas de la C-510	57389,00	kg/h

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

GA-540	Flujo de agua de la C-540	28275,76	kg/h
A-510	Agua que sale del E-510	18500,00	kg/h
Gv-510	Flujo de vapor del Ebullicor	7775,76	kg/h
D-520	Condensado alcohólico de la C-520	5160,37	kg/h
Vc-520	Vapor directo a C-520	1000	kg/h
W-520	Vinazas de la C-520	5298,87	kg/h
D-536	Extracción de cabeza	243,29	kg/h
R-536	Reflujo de la C-536	4474,36	kg/h
Gv-536	Vapores que salen por el tope de la C-536	4717,65	kg/h
Al-536	Agua que entra a C-536	3000	kg/h
W-536	Destilado que sale de la torre C-536	27538,17	kg/h
Vc-536	Vapor directo a C-536	2500,00	kg/h
D-540	Destilado que sale de la torre C-540	3201,59	kg/h
P-540	Extracción de las Primas	60,82	kg/h
Gv-540	Vapores alcohólicos	18125,96	kg/h
Vc-540	Vapor directo que entra a C-540	8787,01	kg/h
Metilos	Flujo de metanol	60,82	kg/h
AEF	Alcohol extra fino	900,02	HI/d

2.5 Breve descripción de los equipos fundamentales de la sección de fermentación de la destilería.

- 1 Tanque de recepción de miel final de capacidad de 10 m³ y material de construcción AISI 304.
- 2 Tanque de recepción de jugos de capacidad de 22 m³ y material de construcción AISI 304.
- 3 Filtro rotatorio de tambor con área de filtrado de aproximadamente 24 m².
- 4 Intercambiador de calor de placas con coeficiente global de transferencia de calor 567W/m² °C y área de transferencia de calor aproximadamente 5 m² y 2 placas. Que estarían distribuidos de la siguiente manera uno para 2 fermentadores y 1 para las dos cubas madres y otro para el enfriamiento de placas.
- 5 Los fermentadores son 10 en total con una capacidad de aproximadamente 115,7 m³, diámetro de 4,45 m y altura de 8,89 m y material de construcción AISI 304.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

- 6 La cuba madre son dos en total con una capacidad de aproximadamente 110 m³, diámetro de 3,25 m y altura de 7,5 m y material de construcción AISI 304.
- 7 El primer disolutor tiene aproximadamente una capacidad de 22 m³ y material de construcción de AISI 304.
- 8 El segundo disolutor es de aproximadamente 8 m³ y material de construcción de AISI 304.
- 9 El tercer disolutor es de aproximadamente 22 m³ y material de construcción de AISI 304.
- 10 Las bombas utilizadas en la sección de fermentación son las centrifugas con un consumo de electricidad de aproximadamente de $122,88 \frac{kW-h}{d}$ y el motor posee las siguientes características: Motor monofásico: 110/220 V, Potencia nominal: 5,5 kW, Velocidad: 2000 rpm, Frecuencia: 60 Hz.

2.6 Breve descripción del equipamiento de la sección de destilación.

1. Columnas

C-510, C-520, C-536, la parte de agotamiento de C-540, parte de aceites de C-540 y la C-550 está construida de Inoxidable AISI 304. La parte de concentración de C-540 está construida de cobre desoxidado de la mejor calidad. Estas columnas están formadas por virolas cilíndricas unidas entre sí por medio de bridas y tornillos de acero común. Están provistas de capsulas cuadradas de nuestro estándar o de cacerolas cilíndricas de diámetro de 100mm. Sus platos serán desmontables si el proceso lo exige. Los tubos de caída son apropiados para cada tipo de columna. Todas las columnas llevan accesorios, tales como tapones, mirillas, etc.

2. Intercambiadores de Calor

Los condensadores son verticales para potencias caloríficas inferiores a 300.000Kcal/h y horizontales multipasos en el refrescante de alcohol.

Según sean las necesidades del proceso, están construidas de acero inoxidable AISI 304, AISI 316 ó cobre (en este caso las placas serán de bronce). En todos los casos son de tipo tubular, con placas gruesas para mandriladas de los tubos.

3. Tubería de enlaces

Las tuberías de agua y vapor son de acero común (con soldadura para el agua y sin soldadura para el vapor). Las tuberías que transportan los fluidos del proceso, son de

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

cobre o de acero inoxidable. Se suministran largos comerciales para el montaje en la obra, y con las bridas de unión. Estas últimas de las normas DINPN16 de acero común.

4. Grifería

Los grifos y las válvulas son de bronce o acero y para el vapor son asiento de acero.

5. Bombas

Las bombas son de tipo autoaspirante, para los diferentes fluidos del proceso. Estas bombas están construidas de cuerpo, turbina y eje de acero inoxidable con motor antiexplosivos.

Conclusiones parciales del capítulo.

- 1** Mediante la realización de los balances de masa y energía se cuantificaron las principales corrientes involucrada en el proceso de obtención de alcohol extrafino de la destilería.
- 2** Con la utilización de los jugos de los filtros se logran obtener los 900 HI/d de alcohol extrafino, lo que permite ahorrar gran parte de la miel para hacer alcohol después de la zafra
- 3** Los equipos fundamentales de la sección de fermentación son: los tanques receptores de miel y jugo, el filtro rotario de tambor, los disolutores, los fermentadores, las cubas madres y las bombas centrífugas.
- 4** La sección de destilación cuenta con cinco columnas de destilación: columna destrozadora, columna de alto grado, columna Hidroselectora, columna rectificadora y columna desmetilizadora.

Capítulo 3 Evaluación económica.

Durante un proceso inversionista es necesario que la toma de decisiones tenga en cuenta criterios de índole técnicos, económicos y medioambientales. Galindo (2010). La evaluación económico-financiera de un proceso inversionista, hecha de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar el proceso, o sea, si es o no rentable y sí siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio, además de brindar elementos para decidir el tamaño de planta más adecuado.

Los criterios de evaluación que se aplican con más frecuencia por los analistas de proyectos consisten en comparar precisamente los flujos de ingresos con los flujos de costos y los mismos se clasifican en dos categorías generales que son las técnicas para el análisis de la rentabilidad de la inversión (con y sin financiamiento) y las técnicas para el análisis financiero. A la primera categoría pertenecen los métodos actualizados como el valor actual neto y la tasa interna de retorno y a la segunda los análisis de liquidez.

Una vez realizados los balances de masa de cada una de las alternativas, se efectuó una evaluación económica inversionista de cada una de las alternativas, sobre la base del costo de inversión, el costo de producción y los indicadores de rentabilidad de los procesos. El estimado de los indicadores se obtuvo con la aplicación de la metodología planteada en el Peter (2003).

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

3.1.-Costo Total de Inversión.

Para el estimado del costo total de inversión, se determinó el costo del equipamiento utilizado, el cual tiene una gran incidencia en éste, específicamente en los elementos que contiene la inversión fija, de esta manera se tiene que:

$$CIn = IF + IT$$

(3.1)

$$IF = CD + CI$$

(3.2)

Inversión de trabajo (IT) = 10% de Inversión total (Cin)

Donde	
CIn	Costo total de la Inversión.
IF	Inversión Fija.
IT	Inversión de Trabajo.
CD	Costos Directos.
CI	Costos Indirectos

Para determinar el costo actual de los equipos:

$$CA = CO * \frac{IA}{IO}$$

(3.3)

Donde		
CA	Costo Actual de los equipos.	
CO	Costo Original de los equipos.	
IA(2017)	Índice Actual de los equipos.	
IO(2001)	Índice Original de los equipos.	

3.1.1-Costos Totales de Producción.

$$CTP = CF + GG \tag{3.4}$$

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

$$CF = CD + CFi + CI \quad (3.5)$$

$$GG = 0,1 * CTP \quad (3.6)$$

Donde	
CTP	Costos Totales de Producción.
CF	Costo de Fabricación.
GG	Gastos Generales.
CFi	Costos Fijos.

3.1.2-Ganancia del proceso.

La ganancia representa la eficiencia de la actividad productiva. Es un indicador estático, pues para su estimación no se considera el cambio de valor del dinero en el tiempo. No obstante es un indicador muy importante.

- Cuando la $G < 0$, existe pérdidas en el proceso.

Para determinar el valor de la ganancia.

$$G = VP - CTP \quad (3.7)$$

Donde	
G	Ganancia.
VP	Valor de la Producción.

3.2 Determinación de los indicadores dinámicos de rentabilidad.

La factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo del indicador dinámico VAN (tomando una tasa de interés del 15%), la determinación de la TIR y el PRD.

$$VAN = \left[\sum_{k=1}^n \frac{FC}{(1+i)^k} \right] - Inv \quad (3.8)$$

Donde

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

VAN	Valor Actual Neto.
FC	Flujo de Caja.
Inv.	Inversión.
i	Tasa de interés.

Determinación del flujo de caja por años (**FCi**)

$$FCi = (Ii - Gi - Dep) * (1 - T/100) + Dep \quad (3.9)$$

Donde	
Ii	Ingresos anuales
Gi	Gastos anuales.
Dep	Depreciación.
T	Tasa de impuestos sobre ganancia.

El Valor actual neto también conocido valor actualizado neto, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. Penín (2016)

Tabla 3.1 Interpretación del valor del VAN.

Valor	Significado	Decisión a tomar
VAN > 0	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

VAN < 0	La inversión produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
VAN = 0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

$$PRD = A + \left[\frac{C}{FC} \right] \quad (3.9)$$

Donde	
PRD	Plazo de Recuperación al Descuento.
A	Año Anterior a la Recuperación.
C	Cantidad No Recuperada en el próximo año.

El plazo de recuperación al descuento (PRD) establece el tiempo en que se recupera una inversión dada.

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En términos simples en tanto, diversos autores la conceptualizan como la tasa de interés (o la tasa de descuento) con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad. Penín (2016)

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

- Si $TIR > R$: Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).
- Si $TIR < R$: Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

R: representa es el costo de oportunidad.

3.3 Cálculo de los indicadores económicos.

Una vez dimensionados los equipos fundamentales de la planta, se efectuó el análisis económico de la misma, sobre la base del cálculo del costo de inversión, el costo de producción, la ganancia y los indicadores de rentabilidad.

El estimado de los indicadores se obtuvo aplicando la metodología planteada por (Peters & Timmerhaus, 2003).

Los costos se realizaron con una base de 250 días de producción.

3.3.1 Costo Total Del Equipamiento.

Para el estimado del costo total de inversión, se determinó el costo total del equipamiento, utilizado, el cual tiene gran incidencia en este, específicamente en los elementos que contiene la inversión fija, de esta manera se tiene que:

$$CT \text{ de Inversión} = \text{Costos directos} + \text{Costos indirectos}$$

(3.10)

Para la determinación del costo total de inversión de equipos se realizó un listado de los mismos, así como sus precios correspondientes en el año 2001, datos obtenidos de (Libros contables de ALFICSA). En la tabla 3.1 se presentan los resultados obtenidos.

Para obtener el valor del costo total actual de equipamiento se necesita calcular el costo actual en el 2017 de cada equipo propuesto, para ello se utiliza la ecuación referenciada en Dysert (2003), (Peters & Timmerhaus, 2003), Whitesides (2007):

$$\text{Costo actual (2016)} = \frac{\text{Índice de costo actual (2017)} * \text{Costo original (2013)}}{\text{Índice de costo original (2013)}}$$

(3.11)

Donde:

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Índice de costo año 2001 = 394,3 (Bullock et al, 2016)

Índice de costo año 2017 = 567.5 Jenkins (2018)

Tabla 3.1 Costo de equipamiento.

Nombre	No Equipos	Costo Unitario \$/u	Costo actualizado, \$	Costo total, \$
Eyector	1	900,00	1.295,33	1.295,33
Bomba centrifuga	10	682,85	982,80	9827,98
Intercambiador de calor de placas	7	20.000,00	28.785,19	201.496,32
Inoculador	1	6.500,00	9.355,19	9.355,19
Tanque de Almacén de Jugo	1	23.800,00	34.254,37	34.254,37
Tanque de Almacén de Melaza	1	23.800,00	34.254,37	34.254,37
Disolutores	3	8.500,00	12.233,71	36.701,12
Tanque de Fermentación	12	90.608,98	130.409,83	15.649.17,97
Filtro Rotatorio de Miel Diluida	1	27.677,00	39.834,38	39.834,38
Columna de Absorción	1	30.388,45	43.736,86	43.736,86
Columna Destrozadora	1	350.747,00	504.815,93	504.815,93
Columna Preconcentradora	1	88.533,00	127.421,96	127.421,96
Columna Rectificadora Producto	1	268.793,00	386.862,86	386.862,86
Columna Hidroselectora o Lavadora	1	235.927,00	339.560,16	339.560,16
Columna Desmetilizadora	1	559.99,00	805.97,09	805.97,09
Caldera de vapor	1	178.000,00	256.188,18	256.188,18
Torre de enfriamiento	1	448.000,00	644.788,23	644.788,23
Turbo Generador	1	100.000,00	143.925,94	143.925,94
			Total, \$	44.598.34,27

Los costos unitarios se tomaron de los libros Contables de ALFICSA.

Tabla 3.2: Costos directos e indirectos.

Costos directos	Indicadores	Fórmula	Costo (\$)
		Equipamiento (E)	E

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

	Entrega del equipamiento	0.10*E	445.983,43
	Subtotal: equipamiento y su entrega (E')		4.905.817,70
	Instalación de equipos adquirido	0.47*E'	2.305.734,32
	Instrumentación y control	0.36 *E'	1.766.094,37
	Tuberías	0.68*E'	3.335.956,03
	Instalaciones eléctricas	0.11*E'	539.639,95
	Costos directos totales		12.853.242,37
Costos indirectos	Gastos de construcción	0.41 E'	2.011.385,26
	Gastos legales	0.04 E'	196.232,71
	Costos indirectos totales		2.207.617,96

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

CT de Inversión (FCI)	CD +CI	15.060.860,33
--------------------------	--------	---------------

3.3.2 Costos Totales de Producción.

Materia Prima	Cantidad	Precio (\$/U.M)	Importe (\$/año)
Miel Final (t/año)	85,00	75580,01	64.243.00,55
Jugo de los filtros (t/año)	20,00	71295,00	14.259.00,00
Levadura (Kg/año)	4,00	2000,00	8.000,00
Total			78.582.00,55

Tabla 3.4: Valor de ingreso de los productos.

Producto	Cantidad	Precio (\$/U.M)	Importe (\$/año)
Alcohol extrafino (HL/año)	225004,2	85,00	19.125.358,77

Tabla 3.5: Costos anual de operación de la mano de obra.

Mano de obra			
Número de operadores por turno	Turnos por día	\$/h	Costo anual de operación de la mano de obra
28	2	0.5	45.360,00

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Tabla 3.5: Costo de las utilidades anuales.

Utilidades	Costo	Cantidad	Importe (\$/año)
Electricidad (kW)	0,092 \$/kWh	800000	73.440,00
Petróleo	2,20 \$/GJ	250000	550.000,00
Vapor (kW)	0,01 \$/1000 Kg	94261	1.319,65
Agua enfriamiento (m ³)	0,01 \$/m ³	68561	685,61

Tabla 3.6: Costos Totales de Producción al 100 % de capacidad.

Elementos	% Base	Bese	Valor(\$)
Materia Prima			\$78.582.00,55
Mano de Obra			\$45.360,00
Supervisión	0,1	Mano de Obra	\$4.536,00
Utilidades			\$625.445,26
Mantenimiento y Reparaciones	0,02	FCI	\$301.217,21

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Suministro	0,1	Mantenimiento y reparaciones	\$30.121,72
Gasto de Laboratorio	0.05	Mano de Obra	\$2.268,00
Costos Variables			
Impuestos	0.01	FCI	\$150.608,60
Seguro	0.004	FCI	\$60.243,44
Cargos Fijos			\$210.852,04
Puesta en Marcha, general	0.25	M. de obra, Supervisión y Mantenimiento	v877.78,30
Costos de Fabricación (CV+CF+PM)			
Administración	0.15	M. de obra, Supervisión y Mantenimiento	\$3.005,75
Distribución y Venta	0.02	CTP	\$192.050,96
Investigación y desarrollo	0.02	CTP	\$192.050,96
Gastos Generales			\$436.768,90

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Costos Totales de Producción (sin Depreciación)	\$9.602.547,99

3.4 Indicadores dinámicos de rentabilidad.

Una valoración de la factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo de los indicadores dinámicos: VAN, TIR, PRD y RVAN, tomando una tasa de interés del 12 %. La estimación se realizó en un período de 10 años.

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión total}$$

(3.12)

A partir de esta expresión, además de obtener el VAN, se determina la TIR (Tasa de Rendimiento Interna), y el PRD (Período de recuperación al descontado).

$$\text{RVAN (Índice de rentabilidad)} = \frac{\text{VAN}}{\text{Costo total de inversión}}$$

(3.13)

Los resultados obtenidos se determinaron por un programa realizado con la ayuda del Microsoft Excel, donde se evaluaron los indicadores económicos mediante la metodología planteada por (Peters & Timmerhaus, 2003), los cuales están en correspondencia con este tipo de planta en cuanto a su factibilidad teniendo en cuenta la venta del producto principal.

En la Tabla 3.7 se muestran los resultados de la evaluación de los indicadores para el estudio de la factibilidad.

Tabla 3.7: Resultados de los Indicadores de la factibilidad de la Inversión.

Indicador	Valor
Valor Actual neto (VAN)	\$29.324.091,60
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	45,58%
Período de Recuperación al descontado (PRD)	3,3 años
Índice de rentabilidad (RVAN)	1,86

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

En la figura 3.1 se muestra el comportamiento del Plazo de Recuperación al Descuento (PRD) en un período de tiempo de 10 años.

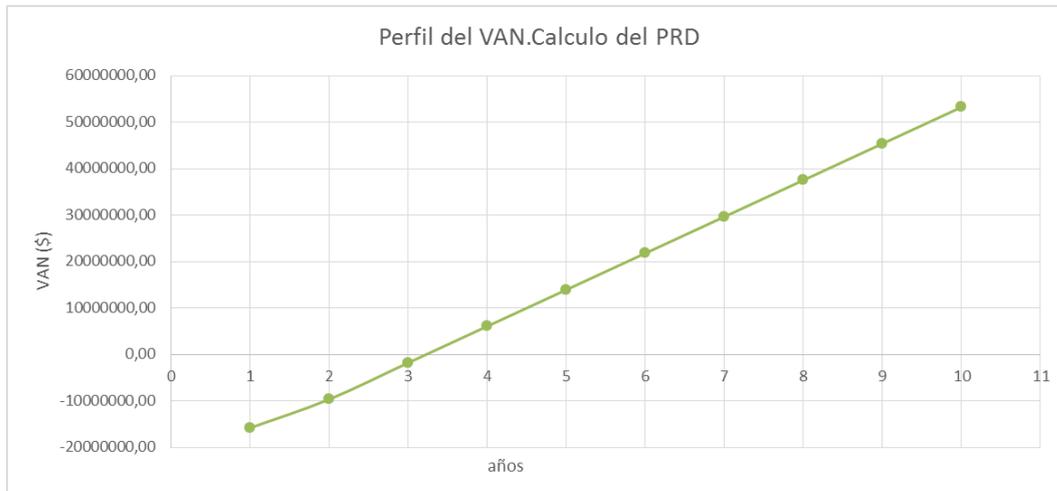


Figura 3.1. Determinación del Plazo de Recuperación al Descuento (PRD) en el escenario medio.

Se puede concluir de la figura anterior que:

1. El $VAN > 0$, por lo que el proyecto sujeto a estudio es factible, pues es capaz de generar suficiente ingreso indirecto (por concepto de ahorro) que permite pagar la inversión y los costos de operación.
2. La $TIR = 45,58\%$, es superior al criterio de aceptación para este indicador de rentabilidad establecido en $TIR \geq 16\%$ y el $RVAN > 1$ lo que propicia la aceptación del proyecto.
3. El período de recuperación de la inversión es de 3,3 años.

3.4.1 Análisis de riesgo.

Para pronosticar el riesgo de un proyecto e integrarlo al análisis de evaluación, existen diversos métodos, tales como:

- Método estadístico.
- Método de tasa de descuento ajustada al riesgo.

Indicador	Valor

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Valor Actual neto (VAN)	\$37.316.406,41
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	53,60%
Período de Recuperación al descontado (PRD)	3 años
Índice de rentabilidad (RVAN)	2,36

- Métodos de equivalentes de certidumbre.
- Método de análisis de sensibilidad.

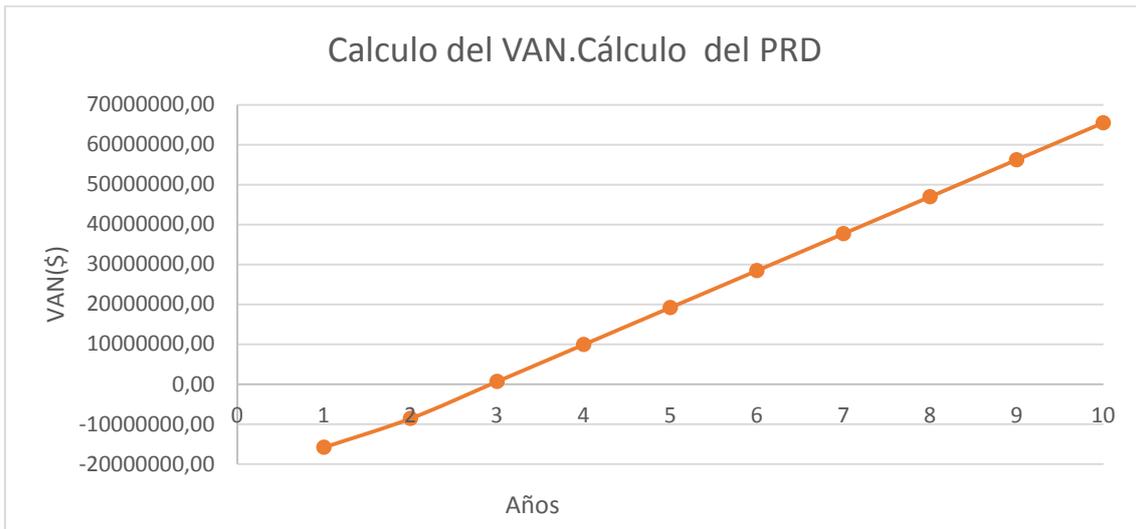
En este caso se realiza un análisis de sensibilidad, el cual permite evaluar diferentes escenarios al planeado, dado que todo lo planificado representa variables estimadas, que en determinado momento no pueden ser del todo iguales a la realidad, pudiendo presentarse variaciones a lo largo de la vida útil del proyecto. Este método utiliza el enfoque analítico-administrativo que tiene como propósito obtener el riesgo, una vez que se lleva a la práctica todo proyecto.

Resultados del Escenario Optimista.

Escenario Optimista: Con el uso del 90 % del Jugo de los filtros.

Tabla 3.8 Resultados de los Indicadores de la factibilidad de Inversión. (Escenario Optimista)

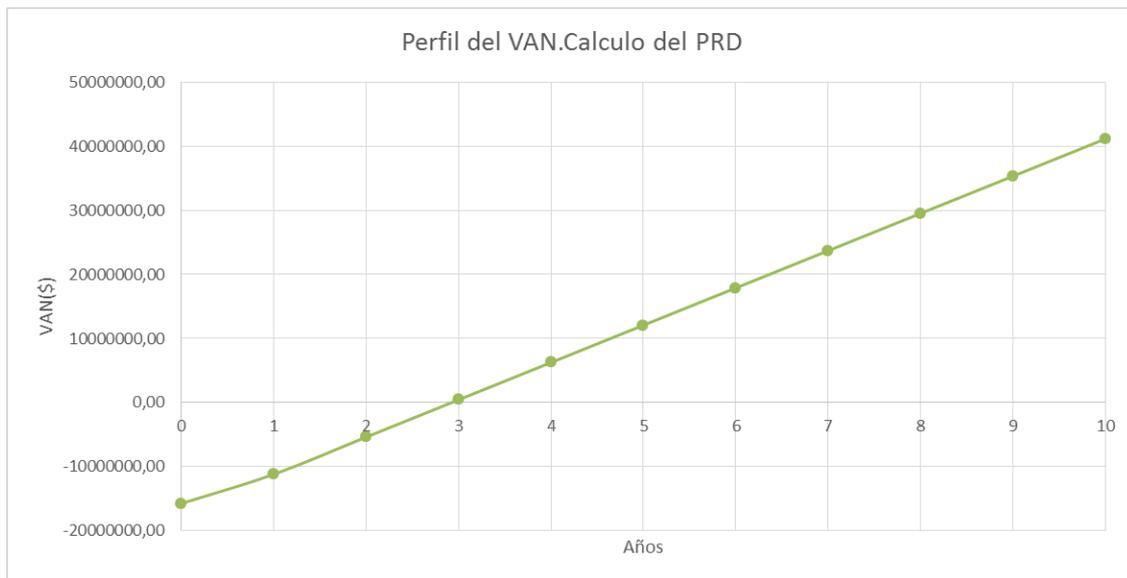
Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``



En la figura 3.2 se muestra el comportamiento del PRD en un período de tiempo de 10 años, en ella se puede apreciar que la inversión se recupera en tres años.

Resultados Escenario Pesimista: Con el uso del 50% del jugo de los filtros.

Indicador	Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero "5 de septiembre"
Valor Actual neto (VAN)	\$17.605.143,85
Tasa de Rendimiento Interna (TIR)	33,29%
Período de Recuperación al descuento (PRD)	3 años
Índice de rentabilidad (RVAN)	1,11



En la figura 3.4 se muestra el comportamiento del PRI en un período de tiempo de 10 años, en ella se puede apreciar que la inversión se recupera en tres años. Por tanto, si ocurrieran tales situaciones, es favorable la realización de la inversión para la propuesta, como se puede apreciar en la figura.

3.5 Consideraciones sobre el impacto ambiental y social de la propuesta.

Impacto ambiental

- Generación de residuos sólidos.
- Generación de efluentes.
- Emisión de gases.
- Generación de ruidos.
- Riesgos de accidentes personales.
- Riesgos de incendios

Los indicadores sociales y ambientales que influyen en la instalación propuesta son:

Indicadores ambientales:

- Uso de las vinazas para el riego de la agricultura cañera
- Tratamiento interno de vinaza y uso del fertirriego o para biogás
- Contribución a la reducción de Gases de invernadero (GI)

Indicador social:

- Mejoramiento de la calidad de vida.
- La aplicación de tecnologías de punta.
- Generación de empleos.
- Generación de empleos al sector femenino.
- Construcción de viviendas.
- Mejoramiento de la infraestructura urbanística.
- Generación de divisas o sustitución de importaciones.
- Desarrollo de un centro docente.

Conclusiones Parciales

1. Los escenarios medios, optimista y pesimista son factibles porque el VAN para los tres es mayor que cero. ($VAN > 0$), La $TIR > 16\%$ y el $RVAN > 1$ lo que propicia la aceptación del proyecto.
2. Para los tres escenarios el PRD está en el entorno de los tres años.
3. La implementación de este proyecto trae consigo impactos ambientales como: Emisión de Gases, Generación de ruidos y de residuos solidos.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

4. La implementación de este proyecto trae consigo impactos sociales como Generación de empleos, La aplicación de tecnologías de punta, Desarrollo de un centro docente

Conclusiones Generales.

1. La utilización de jugos de los filtros, como sustituto de una parte de la miel tiene un buen rendimiento y una buena eficiencia, por lo que se considera beneficioso para el proceso de obtención de alcohol extrafino.
2. Mediante la realización de los balances de masa y energía se cuantificaron las principales corrientes involucrada en el proceso de obtención de alcohol extrafino de la destilería.
3. Con la utilización de los jugos de los filtros se logran obtener los 900 Hl/d de alcohol extrafino, lo que permite ahorrar gran parte de la miel para hacer alcohol después de la zafra
4. Los escenarios medio, optimista y pesimista son factibles debido que el VAN para los tres casos es mayor que cero ($VAN > 0$), la $TIR > 16\%$ y el RVAN es mayor que el establecido ($RVAN > 1$) lo que propicia la aceptación del proyecto y para los tres escenarios el período de recuperación de la inversión es de tres años.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Recomendaciones

1. Que se utilicen los resultados de este trabajo para los estudios de desarrollo de la UEB Central Azucarero ``5 de Septiembre `` en el diseño destilería.
2. Recomendar a AZCUBA Cienfuegos la instalación de una planta de 900 hl/d en la UEB Central Azucarero ``5 de Septiembre ``.
3. Lograr que el Brix de los jugos a la salida del ingenio esté entre (12,8 y 15) para que no afecte el Brix de salida de la mezcla del primer disolutor.
4. Proponer un centro docente en las instalaciones de la UEB Central Azucarero ``5 de Septiembre ``.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Bibliografía

Arcila, A. M. (2015). *Propuesta tecnológica para la producción de Licor de frutas tropicales en la fábrica de ron Antonio Sánchez*. Universidad ``Carlos Rafael Rodríguez`` Cienfuegos.

Arencibia, Y. (2014). *Impacto de la recirculación de vinazas a la etapa fermentativa en el proceso de producción de etanol en la destilería Heriberto Duquesne*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Arteaga, L., & Carvajal, G. (2013). Proceso de producción de etanol a partir de melazas.

Balconi, G. M. (2011). *Mejoramiento de los procesos de fermentación alcohólica y Acética para la elaboración de vinagre a partir de azúcar en industria alimenticia guatemalteca*.

Barrio, E. (2014). *Alternativa de obtención de etanol a partir de paja de caña*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Becerra, L. A. (2004). La industria del etanol en México.

Cervantes, Y. (2010). *Análisis del comportamiento de la etapa de fermentación alcohólica en la destilería ALFICSA*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Contreras, C. A., & Del Campo, M. C. (2014). *Productos de la fermentación alcohólica, un beneficio para la salud*.

Crespo, Y. (2014). *Alternativas de incremento de la eficiencia en fermentación alcohólica en la destilería "Heriberto Duquesnet"*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Delgado, L. R. (2006). *Análisis de Alternativas para la etapa de destilación de una planta piloto de producción de bioetanol*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

- Días, M., Pérez, I., & Poro, G. (2009). *Estudio de Factibilidad para la instalación de una destilería de etanol en Atencioso.*
- Espiral, V. M., Jiménez, R. W., Peraza, K., & Rainiero, F. (2009). *Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico.* Universidad de El Salvador.
- Frías, A. (2013). *Estudio sobre alternativas de mejoras tecnológicas en la destilería ALFICSA.* Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.
- García, N. (2005). *Estudio de alternativas para la obtención de bioetanol a partir de bagazo de caña.* Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.
- García, R. (2013). Incorporación de otras materias primas como fuentes de azúcares fermentables en destilerías existentes de alcohol, 131-142.
- Garzón, S. C., & Hernández, C. (s. f.). Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces Cerevisiae silvestre*, *Saccharomyces Cerevisiae ATCC 9763 Y Candida Utilis ATCC 9950*, 2009.
- Gonzales, Ar. (2004). Redimensionamiento y diversificación de la agroindustria azucarera cubana.
- Gonzales, E., Penín, E., Albornas, Y., Cervantes, Y., & Feyt, R. (2010). Análisis del proceso de obtención de alcohol de materia prima de una destilería.
- Iglesias, J. F. (2016). *Propuesta de una destilería de etanol a partir de mieles y jugos en UEB Fábrica de azúcar "Ciudad Caracas".* Universidad ``Carlos Rafael Rodríguez`` Cienfuegos.
- Kline, P. (2016). Destilación and Purificación.
- Levenspiel, O. (1986). *Ingeniería de las reacciones químicas.*

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Lichts, O. (2016). World Fuel Ethanol Production.

López, Y. (2005). *Análisis de integración de procesos al CAI Uruguay para la diversificación de la industria azucarera*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Marquetti, H. (2001). Los retos de la recuperación de la industria azucarera cubana.

Mulet-Hing, M. (2013). Automatización de la destilación de alcohol de la UEB destilería de la ronera Santiago de Cuba.

ONCON, J. (1952). *Microbiología Industrial*.

Otulugbu, K. (2012). *Production of Ethanol from Cellulose (Sawdust)*.

Palacios, A., Krieger, S., Suarez, C., & Heras, J. M. (s. f.). La Fermentación Maloláctica: Objetivos y Variables de Control.

Pavlov, K. . (s. f.). *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química*.

Penín, E. (2016). *Propuestas de alternativas de mejoras tecnológicas en la destilería ALFICSA*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Perry, R. . (1999). *Perry's Chemical E ngineers' Handbook*.

Peters, M. ., & Timmerhaus, K. . (2003). *Plant Design and economics for Chemical Engineers*.

Pineda, I. A. (2016). *Balances de masa y energía ajustados a las nuevas condiciones operacionales en la Fábrica Azucarera ``5 de Septiembre``*. Universiad ``Carlos Rafael Rodríguez`` Cienfuegos.

Ponce, C. (2015). Usos y Aplicaciones del Alcohol.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Quintana, C. B. (2015). *Propuesta de una destilería de etanol en la UEB Central Azucarero*

``Elpidio Gómez``. Universidad ``Carlos Rafael Rodríguez`` Cienfuegos.

Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*.

Suarez, C., Garrido, N. A., & Guevara, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces Cerevisiae* y la producción de alcohol.

Torres, D. (2005). *Estudio de la etapa de fermentación alcohólica utilizando mezclas de diferentes sustratos*. Universidad Central ``Marta Abreu`` De Las Villas.

Ulrich, G. . (1985). *Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química*.

Ximenez, P. (2016). Destilación: Teoría y tipos.

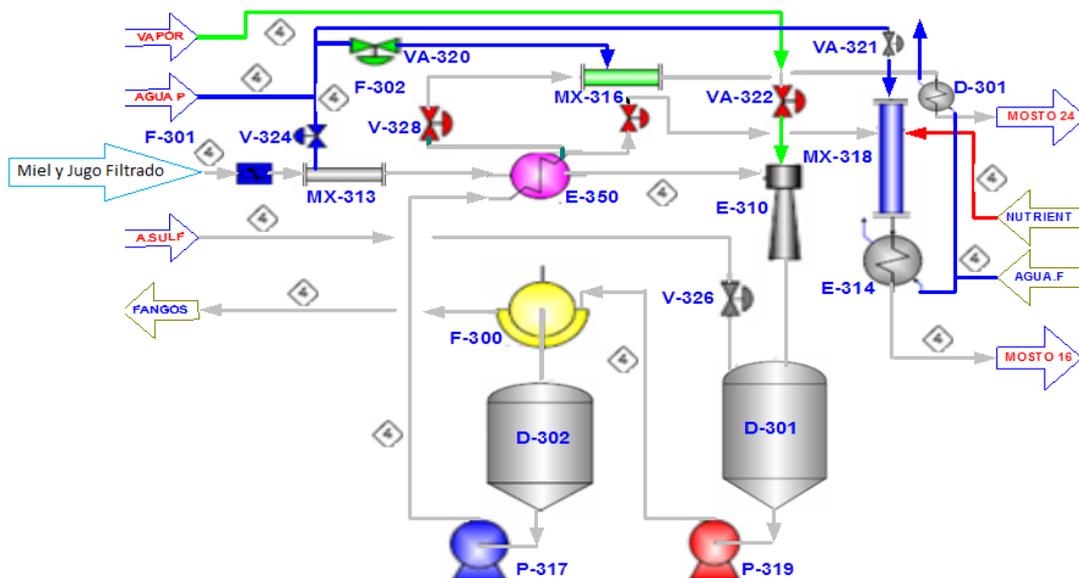
Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

Anexos

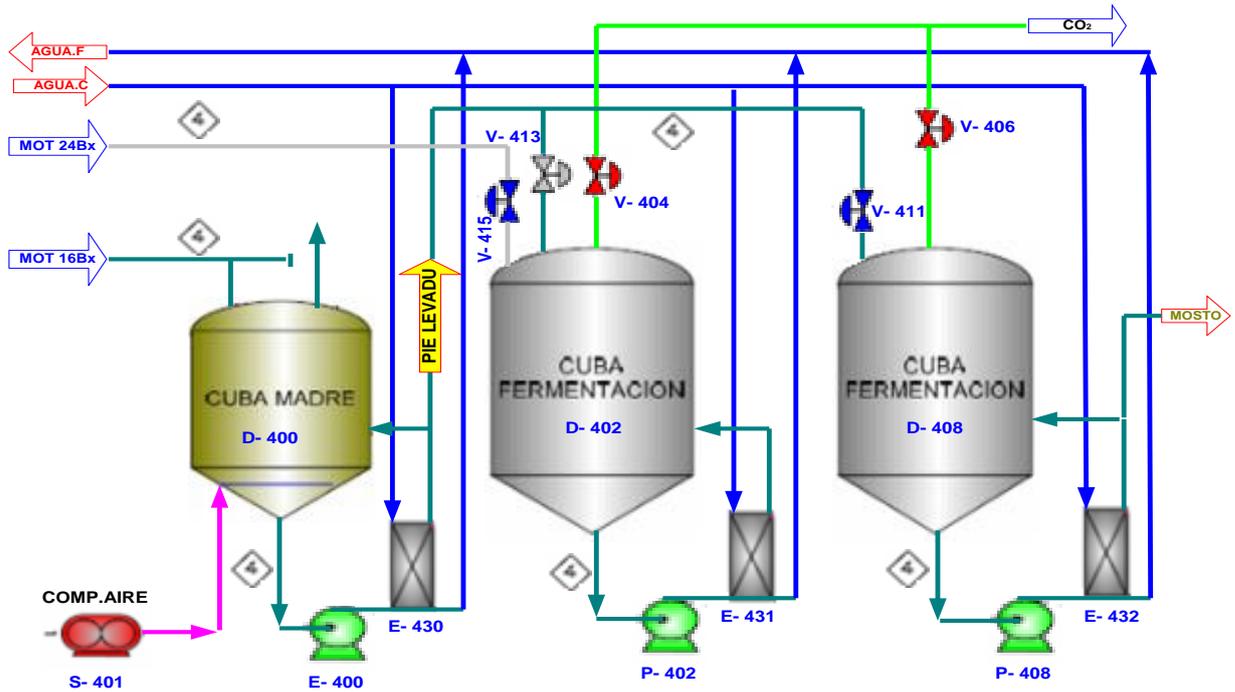
Anexo # 1: Fábrica ``Cinco de Septiembre``.



Anexo #2: Diagrama de flujo de la etapa preparación del Mosto.



Anexo #3. Diagrama de flujo de la etapa de Fermentación.



Anexo #4. Diagrama de flujo de la etapa de Destilación.

Propuesta de una destilería de alcohol extrafino a partir de miel final y jugos de los filtros en el Central azucarero ``5 de septiembre``

DESTILACION DE ALCOHOL SUPERFINO

