



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GUANTANAMO  
FACULTAD AGROFORESTAL DE MONTAÑA  
CENTRO UNIVERSITARIO MANUEL TAMES**



**TRABAJO DE DIPLOMA  
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO EN PROCESOS  
AGROINDUSTRIALES**

**TÍTULO: Optimización de los parámetros tecnológicos del  
proceso de producción de Alcohol Técnico “A” Rectificado.**

**AUTOR: Bárbaro Enrique Rojas Rivo**

**TUTORES: MSc. Lic. Pedro A. Delisle Ybonet  
Ing. Mireya Hernández Frómata**

**GUANTÁNAMO 2013  
“Año 55 de la Revolución”**

# *Pensamiento*



***"...utilizar la ciencia es el único medio que tiene el hombre de explicarse las leyes de la vida".***

**José Martí**

## **DEDICATORIA**

**A mi madre, a mi esposa y a mis hijos por su preocupación a las dos primeras y para que sirva de ejemplo a los terceros, para que les sirva como espejo.**

**Al colectivo de profesores de la Carrera de Ingeniería en Procesos Agroindustriales.**

**A mis tutores, MSc. Lic. Pedro A. Delisle por su dedicación y para que este trabajo fuera posible y la Ing. Mireya Frómeta Hernández, especialista en fermentación de la UEB “Argeo Martínez” por su valiosa ayuda en los momentos más difíciles.**

**A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a que mi trabajo tuviera éxito.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron y estuvieron presentes en la noble tarea de educarme e involucrarme buenos valores, esfuerzos, dedicación y espíritu de sacrificio a lo largo de mi carrera, y en especial quiero agradecer:**

**A mi madre, esposa e hija por su constante preocupación.**

**Al colectivo de profesores de la carrera de Procesos Agroindustriales.**

**Al MSc. Lic. Pedro A. Delisle Ybonet, profesor y tutor.**

**A la Ing. Mireya Frómeta Hernández, por su desinteresada asesoría en la elaboración del Trabajo de Diploma.**

## RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de abordar el comportamiento de los parámetros tecnológicos en la producción de alcohol rectificado “A” en la destilería “Argeo Martínez” en los últimos meses de la campaña alcoholera 2011 – 2012, para determinar las condiciones óptimas que permitan lograr un producto final con criterios conformes de calidad a los intereses de los clientes nacionales e internacionales. Se utilizaron métodos para la investigación del tipo teórico como el análisis-síntesis, histórico-lógico e hipotético-deductivo, entre otros, así como métodos empíricos como la observación participante y las entrevistas personalizadas a directivos, técnicos y obreros. El estudio de los resultados analíticos de laboratorio arrojó que los lotes de producción de la campaña 2011-2012 recibieron criterios de calidad conformes según la NC 792:2010 haciendo uso del equipamiento asignado a cada destilería para hacer dichas determinaciones, sin embargo, cuando se tuvo la necesidad de exportar este producto, fue necesario someter estos análisis a otra evaluación más profunda, haciendo uso de otro equipamiento más moderno, por lo que fue necesario realizar los mismos a nivel nacional, en un laboratorio acreditado y con equipamiento necesario para dicho análisis en los cuales el producto fue declarado no conforme por incumplir con los indicadores de calidad de los alcoholes superiores y los esteres algo elevados. Para alcanzar estos fines se ejecutaron acciones de mejoras en los sistemas de destilación y rectificación y de extracción de impurezas como elementos esenciales para alcanzar parámetros con valores óptimos, en consonancia con las normativas de calidad vigentes.

## **SUMMARY**

This investigation was realized by the purpose of approaching the behaviour of the technological parameters in the production of rectified alcohol "A" in the distillery "Argeo Martínez" in the last months of the campaign 2011 - 2012, to determine the ideal conditions that allow to achieve a final product with similar criteria of quality to the interests of the national and international clients. Methods were in use for the investigation of the theoretical type as the analysis - synthesis, historically - logically and hypothetically - deductively, between others, as well as empirical methods as the observation participant and the interviews personalized to executives, technical personnel and workers. The study of the analytical results of laboratory threw that the lots of production of the campaign 2011-2012 received similar criteria of quality according to the NC 792:2010 using the equipment assigned to every distillery to do the above mentioned determinations, nevertheless, when there was had the need to export this product, it was necessary to submit these analyses to another deeper evaluation, using another more modern equipment, for what it was necessary to realize same national, in an accredited laboratory and with equipment necessary for the above mentioned analysis in which the product was declared do not agree for breaking with the quality indicators of the top alcohols and them cover something high. To reach these ends actions of improvements were executed in the systems of distillation and rectification and of extraction of impurities as essential elements with excellent values, according with the actual normative of quality.

## INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. Revisión Bibliográfica.....	4
I.1 Generalidades de la producción de alcohol	4
I.2 Principales conceptos.....	5
I.3 El proceso de fermentación en la producción de alcohol etílico.....	9
I.4 El proceso de destilación en la producción de alcohol etílico.....	15
1.4.1 Anormalidades en la operación del sistema.....	19
I.5 El alcohol etílico rectificado .....	21
I.6 Insumos fundamentales y auxiliares en el proceso de producción.....	22
CAPITULO II. Materiales y Métodos.....	23
II.1 Métodos de investigación.....	23
II.2 Materiales empleados en la investigación.....	23
II.2.1 Parámetros tecnológicos y productivos.....	23
II.2.2 Normas cubanas de procedimientos analíticos para determinar los parámetros de calidad del alcohol etílico.....	25
CAPITULO III. Resultados y discusión.....	32
III.1 Generalidades del proceso tecnológico.....	32
III.2 El proceso de fermentación.....	33
III.2.1 Condiciones específicas de la fermentación para la producción de alcohol rectificado.....	40
III.3 El proceso de destilación.....	40
III.3.1 Características de la columna destiladora y rectificadora y parámetros de operación.....	43
III.3.2 Parámetros que influyen en la obtención de una buena calidad del producto.....	44
III.4 Evaluación de la producción de alcohol rectificado con criterios de no conformidad en los parámetros de calidad realizados con equipos de medición diferentes a los atilizados en la fábrica.....	46

III.5 Medidas Tecnológicas realizadas en el proceso de producción para obtener Alcohol Rectificado de Calidad.....	48
III.6. Valoración económica de los resultados.....	52
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	
ANEXOS.....	

## INTRODUCCION

En el ámbito de la industria azucarera, hay un campo que adquiere perfiles apasionados; el de los productos derivados. Hace una década, era simple tema de aficionados a la novedad tecnológica, hoy constituye una vasta rama industrial de extraordinario potencial económico.

Luego de la crisis económica de los primeros años de la década de los 90's, conocida como período especial, Cuba está sumergida en un proceso de rehabilitación económica, donde la industria azucarera juega un papel fundamental y dentro de esta los derivados de la caña de azúcar. La mayor parte de estos derivados constituye un rublo exportable y por tanto, tiene gran importancia en el desarrollo económico del país. De todos estos derivados, los de la miel han sido los que con mayor fuerza han entrado al mercado, de ellos sobresalen los alcoholes, rones y aguardiente de caña (Estévez Báez, 2009).

A continuación el autor de la presente obra, aborda ciertos enfoques introductorios asumidos por él:

Este trabajo tiene como objeto el estudio la producción del alcohol Rectificado "A" en la destilería Argeo Martínez perteneciente a la Unidad Empresarial de Base de Derivados de la Empresa Azucarera Guantánamo. La problemática que se analizó es el cumplimiento de los parámetros de calidad del alcohol rectificado "A" obtenido en el proceso de producción, y como objetivo fundamental de la investigación está caracterizar el proceso de producción de alcohol rectificado que permita estabilizar los parámetros de calidad acorde a los criterios de conformidad exigidos por los clientes, tanto nacionales como internacionales.

Las fuentes consultadas durante el desarrollo de la investigación posibilitaron conocer elementos esenciales en la tecnología de proceso para la producción de alcoholes etílicos, la norma cubana actual, donde aparecen los requisitos del alcohol etílico en todos sus surtidos, especialmente el alcohol rectificado cuando se definen las características en su aspecto, en cuanto a los requisitos organolépticos del mismo (aspecto, olor y sabor). También se consultaron otras normas cubanas, como son las referentes a los métodos analíticos de laboratorio para determinar los

parámetros de calidad de los diferentes surtidos de alcoholes: el grado alcohólico, el tiempo de permanganato, la acidez total, los aldehídos, los ésteres y los alcoholes superiores.

Actualmente la certificación de la calidad de los productos aumenta su rigor cada vez más, acorde a las exigencias del mercado nacional e internacional, consiguiendo de los productores un mayor compromiso en el cumplimiento de la disciplina tecnológica de sus procesos productivos. La producción de alcoholes no está exenta de estas tendencias de incrementar el valor agregado del producto a través de su calidad. A pesar de estas cuestiones, en la destilería “ Argeo Martínez” aun no se ha instituido un sistema de calidad en la producción de alcoholes y aguardientes, en la actualidad se dan los primeros pasos hacia este objetivo.

La problemática analizada en el presente trabajo concierne a los resultados de los parámetros de calidad del alcohol rectificado “A” en la destilería Argeo Martínez, fundamentalmente, por el no cumplimiento que presentaba el comportamiento de los parámetros tecnológicos del proceso productivo. Estos resultados de calidad del alcohol rectificado "A" se declararon no conformes a partir de la necesidad de exportar alcohol por lo que fue necesario realizar estos análisis en laboratorios acreditados, solo existiendo a nivel nacional,( CERALBE)

Las condiciones tecnológicas fundamentales que no permiten obtener la calidad final del surtido de alcohol estudiada fueron: la insuficiente extracción de alcohol de cabeza, deficiencias técnicas en el sistema de extracción de alcohol amílico, deficiencias tecnológicas en el proceso fermentativo

El trabajo propone resolver las deficiencias presentes en el proceso a partir de acciones de mantenimiento en los sistemas de extracción de alcohol amílico y de propanol, manejar con nuevos conceptos la aplicación y el consumo de determinados insumos en el proceso fermentativo, además de exigir con mayor rigor el cumplimiento de la disciplina tecnológica establecida en el Manual de Procedimientos de la fábrica.

Definidos los propósitos de la presente investigación, se procede a plantear el siguiente diseño:

## **Problema de la investigación**

No cumplimiento de los parámetros de calidad del alcohol rectificado “A” obtenido en el proceso de producción en la destilería “Argeo Martínez.”

**Hipótesis:** La optimización tecnológica del proceso de producción de alcohol rectificado permite estabilizar los parámetros de calidad a lo establecido en los criterios de conformidad exigidos por los clientes.

## **Objeto**

La producción de alcohol rectificado “A” en la destilería “Argeo Martínez.”

## **Objetivo general**

Optimizar los parámetros tecnológicos del proceso de producción de alcohol rectificado “A” en la Destilería “Argeo Martínez”.

## **Objetivos específicos**

1. Caracterizar el proceso tecnológico de producción de alcohol rectificado A en las áreas de fermentación y de destilación.
2. Identificar los parámetros que afectan la calidad del surtido alcohol rectificado “A” durante los procesos de fermentación y destilación.
3. Optimizar los parámetros tecnológicos del proceso de producción de alcohol rectificado “A” para obtener criterios conformes de calidad del producto final.

## **CAPITULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **I.1 Generalidades de la producción de alcoholes.**

El término alcohol, en el sentido que será empleado en este estudio, denota exclusivamente alcohol etílico.

El estudio de la historia del alcohol evidencia que las bebidas alcohólicas se conocen desde tiempos remotos. En jeroglíficos egipcios aparecen referencias a las bebidas fermentadas. En el siglo primero de nuestra era, los alquimistas de Alejandría poseían aparatos de destilación con este fin (Blanco Cariacedo, 1982).

El alcohol es un compuesto ternario; se compone de carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) y su composición centesimal es la siguiente: 52,15 % de carbono, 34,73 % de oxígeno y 13,12 % de hidrógeno; su grupo funcional es el hidroxilo, unido directamente a un carbono. Funde a  $-112,3^{\circ}$  C y su punto de ebullición es de  $78,35^{\circ}$  C bajo una presión de 760 mm de mercurio; a  $15^{\circ}$  C tiene una densidad de 0,7943 (Blanco, 1982).

Blanco, 1982, más adelante define que el alcohol etílico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) es un líquido claro, incoloro y móvil; de olor aromático, reacción neutra y sabor ardiente, ya que por ser muy higroscópico, quita a las mucosas su humedad (Blanco, 1982).

En la destilación de los líquidos alcohólicos se pueden recoger 3 destilados. El primero, denominado alcoholes de cabeza, está compuesto por productos de punto de ebullición bajo, tales como aldehídos y ésteres; a continuación, los alcoholes de buen gusto, que están constituidos principalmente por el alcohol etílico; al final obtenemos los alcoholes de punto de ebullición alto, constituidos, en su mayoría, por los alcoholes superiores (o de cola) el alcohol amílico o isoamílico, el propílico, etc. Al conjunto de todos ellos se les llama genéricamente alcoholes amílicos o aceite de fúsel (Blanco, 1982).

Estevez Baez, 2007, expresa que:

El alcohol es soluble en el agua en todas proporciones, con desprendimiento de calor, como les ocurre a los cuerpos que tienen gran afinidad por ella (Ácido

Sulfúrico, Cal Viva, etc.), y la mezcla resultante experimenta una contracción. La contracción máxima se produce en la mezcla de 53,94 % alcohol y 49,83 % volúmenes de agua, ambos a 15 °C, pues esta mezcla, en lugar de dar 103,77 volúmenes, da tan sólo 100.

Blanco, 1982, señala además que el alcohol etílico se presenta en el mercado en diferentes clases:

- a) Alcohol neutro o alcohol rectificado (96 a 97° Gay Lussac).
- b) Alcohol desnaturalizado (90° Gay Lussac).
- c) Alcohol deshidratado o absoluto (99,6 a 99,9° Gay Lussac).

## **I.2 Principales conceptos.**

Nacor Vicente Saes, 2007, en su obra Producción de alcoholes refinados, define los siguientes conceptos:

**Alcoholes refinados:** son alcoholes con muy bajos contenidos de impurezas que alteran su olor y sabor característicos, tales como aldehídos, ésteres, ácidos volátiles y producto de cola.

**Alcohol de cabezas:** son impurezas del punto de ebullición más que el del alcohol donde predominan los aldehídos y los esteres (Vicente, 2007)

También Garrido Carralero, 2010 define los siguientes conceptos:

**Alcohol anhidro** – Denominación del alcohol con un grado alcohólico superior a 99,3° INPM, en general utilizado para mezclar con gasolina.

**Alcohol de colas:** son impurezas de punto de ebullición superior al del alcohol. Suelen denominarse como alcohol amílico por predominar en ellos el alcohol isoamílico.

**Alcohol anhidro** – Denominación del alcohol con un grado alcohólico superior a 99,3° INPM, en general utilizado para mezclar con gasolina.

**Alcohol Desnaturalizado** – Alcohol donde se adiciona una sustancia extraña de sabor y olor repugnante, a fin de impedir su uso en bebidas, alimentos o productos farmacéuticos.

**Alcohol de Liquidación** – alcohol de bajo grado alcohólico retirado al final del proceso de destilación cuando la columna sufre una parada para la limpieza. Este es retornado al tanque balance donde se mezcla con el vino.

**Alcohol de mal gusto** – llamado también “alcohol de cola”, corresponde al producto retirado en la base de la columna de ratificación, al final de la destilación cuando es utilizado un alambique discontinuo

**Alcohol di etílico (etanol)** - Miembro más importante de esta clase de alcoholes, que está representado por la fórmula **C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH**.

**Alcohol Hidratado** - Denominación del alcohol con graduación alcohólica en torno a los 93,2° INPM (92,2° GL), en general utilizado como combustible automotor.

**Alcohol Potable** – Alcohol etílico que puede ser empleado en productos alimenticios (bebidas).

**Alcohómetro Centesimal de Gay Lussac** – consiste en un dispositivo constituido por un cuerpo cilíndrico, de vidrio, con una escala que indica el grado alcohólico de la mezcla hidroalcohólica. Este alcohómetro sirve para la determinación del grado volumétrico de alcohol, o sea, el por ciento en volumen de alcohol en la mezcla (° GL).

**GAY-LUSSAC (GL)** – Por ciento de alcohol (en volumen) de una mezcla hidroalcohólica a la temperatura patrón de 15° C.

**INPM (Instituto Nacional de Pesos y Medidas)** – Por ciento de alcohol (en peso) de una mezcla hidroalcohólica a la temperatura patrón de 20° C

El alcohol puede ser obtenido industrialmente a través de:

- ❖ fermentativa (alcohol de fermentación),
- ❖ sintética (alcohol de síntesis)

## **Aplicaciones del alcohol Etílico**

- Para la fabricación de productos alimenticios.
- Para la fabricación de pinturas de aviones, barnices para madera y metales, esmaltes pulidores de metales.
- En la fabricación de seda artificial, plásticos, adhesivos, vidrios.
- Para usos médicos y lubricantes.
- En la industria farmacéutica.
- Soluciones anticongelantes
- Como preservante de muestras biológicas
- Como agente antiséptico y desinfectante.

La materia prima para la producción de alcohol: mieles finales de caña.

Martínez Vakilvieso, 2010 en su conferencia refleja que el proceso de elaboración de Etanol, podríamos decir que se inicia con el abastecimiento de la materia prima que convenientemente preparada se somete a fermentación. Para definir cuáles son las materias primas utilizadas, proponemos analizar brevemente, los mecanismos bioquímicos que rigen el Proceso de Fermentación.

Las materias primas más utilizadas y económicas son las que proceden de la caña de azúcar:

- Jugo de caña
- Miel Final
- Miel B

Utilizándose más intensamente la miel final, la miel B y en los últimos tiempos el jugo de caña.

La miel final o melaza es un líquido denso de color oscuro y de composición muy variable dependiendo entre otros aspectos, de:

- la variedad de caña,

- la edad, la sanidad,
- la maduración
- y el método de cosecha.

Generalmente las mieles finales tienen un *Brix* promedio de 80°, la mayor parte de su composición en *ART* es fermentable que está compuesta básicamente de *Sacarosa, Glucosa y Fructuosa*.

- Como información adicional debemos tener en cuenta su alta capacidad buffer, por lo que en los procesos fermentativos existe la tendencia a consumir importantes cantidades de ácido Sulfúrico.
- Una buena melaza puede tener como promedio entre 52 y 60 % de *ART*, un pH de 5.5 y un contenido de cenizas de entre 8 % y 10 %. Su densidad es de alrededor de 1.34 y en su composición total están presente entre otras sustancias
  - Sodio
  - Calcio
  - Fósforo
  - Hierro
  - Potasio
  - Silicio
  - Magnesio
  - Acido Pantoténico
  - Vitaminas del Complejo B

Las mieles de caña son el licor madre resultante de la cristalización final del azúcar, del cual no puede extraerse más sacarosa por métodos convencionales. Aproximadamente el 60 % de los sólidos está compuesto por sacarosa, glucosa y fructosa (Otero Rambla, 2008).

La composición de la miel es en extremo variable, pues depende de factores agrícolas e industriales como variedad de caña, grado de madurez, clima, condiciones de cultivo, tipo de corte, eficiencia industrial, etcétera. Los principales componentes de la miel son el agua y los carbohidratos, pero se encuentran además compuestos no azúcares de origen orgánico como: aminoácidos, ácidos carboxílicos alifáticos y olefínicos, vitaminas, proteínas y fenoles, entre otros (Otero Rambla, 2008).

La miel está constituida también por una fracción de origen mineral de gran importancia en la que se encuentran más de 20 metales y no metales en distintas proporciones (Otero Rambla, 2008).

El proceso de extracción de sacarosa produce transformaciones sobre los componentes naturales presentes en el jugo, elevando la gama de constituyentes de la miel a más de 200 sustancias. Entre estos pueden mencionarse el furfural y precursores de melanoidinas de intensa coloración y efecto tóxico (Otero Rambla, 2008).

Las mieles cubanas se han estudiado durante dos décadas y se ha determinado su composición promedió en macro componentes que aparecen en la Tabla 1:

Tabla 1. Composición promedió de las mieles cubanas.

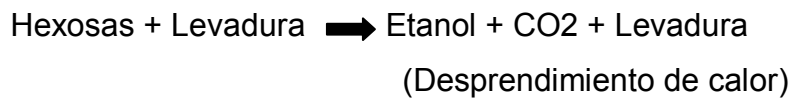
<b>COMPONETES</b>	<b>%</b>
Agua	13.9
Sacarosa	36.2
Glucosa	4.5
Fructuosa	6.4
Ceniza	12.4
Coloides	9.6
Otros azúcares	17.0

Fuente: Mieles. Otero Rambla, 2008

### **I.3 El proceso de fermentación en la producción de alcohol etílico.**

García Revilla, 2008, en su artículo Alcohol publicado en el Manual de los Derivados de la caña de Azúcar refiere elementos esenciales acerca del proceso de

fermentación y plantea que la producción de alcohol por vía fermentativa se basa en la conversión de hexosas en etanol según:



La levadura además de ser el elemento que cataliza la reacción, constituye un producto inevitable de la misma, pudiéndose disminuir su reproducción pero no eliminarla totalmente.

El etanol puede ser producido a partir de tres tipos principales de materiales biológicos (García Revilla, 2008):

- a) Materiales portadores de azúcares simples (tales como: caña de azúcar, melazas, sorgo dulce, etc.) el cual contiene carbohidratos simples como fuente de azúcares.
- b) Almidones (tales como yuca, maíz, papa, etc.), los cuales contienen carbohidratos en forma de almidones como fuente de azúcares.
- c) Materiales lignocelulósicos (tales como la madera, residuos agrícolas, etc.), cuyos carbohidratos se encuentran de formas más complejas como celulosas, hemicelulosas y lignina.

La producción de alcohol a partir de estos materiales generalmente incluye tres etapas fundamentales: primero la conversión de carbohidratos en azúcares simples o asimilables por los microorganismos productores de alcohol, después la fermentación de estos azúcares a etanol y finalmente la separación de alcohol y otros productos por destilación (García Revilla, 2008).

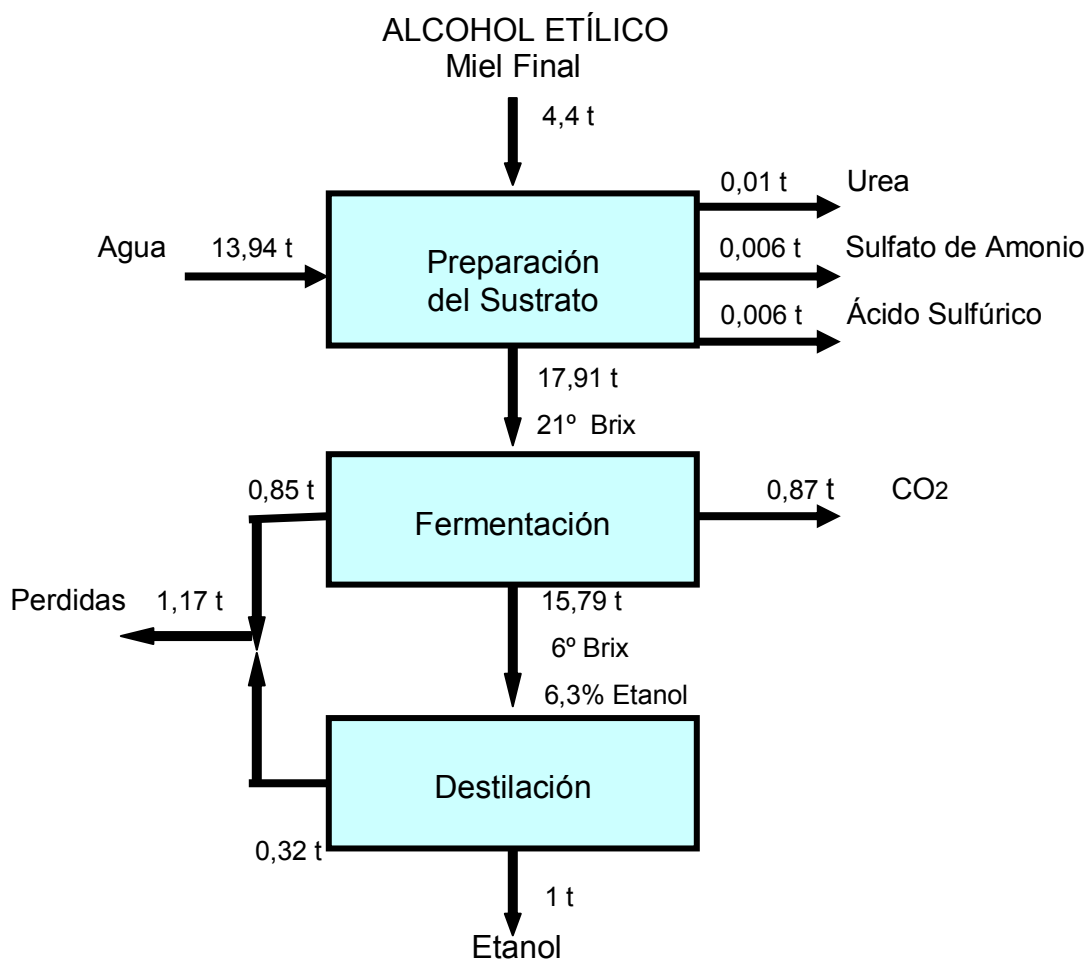
Las materias que contienen sacarosa son convertidas de forma directa en hexosas por la acción de la enzima inversa producida por la propia levadura en el transcurso del proceso (García Revilla, 2008).

La miel final de caña se diluye con agua, se ajusta el PH con ácido sulfúrico y se le añade nitrógeno y fósforo en forma de sales solubles (García Revilla, 2008).

La levadura proveniente de un cultivo puro de laboratorio se propaga mediante pasos sucesivos estériles en condiciones aeróbicas hasta obtener volúmenes de 1 a 2 m<sup>3</sup> (García Revilla, 2008).

Se aumenta la biomasa en el prefermentador con un volumen que oscila entre 10 y 20 % del fermentador. En esta etapa se añade miel con una concentración de azúcares de unos 100 gL<sup>-1</sup> en condiciones no estériles. Cuando la levadura se encuentra a mediados de la fase de crecimiento es inoculada en el fermentador, donde comienza la fermentación alcohólica en condiciones anaeróbicas con una concentración de azúcares de 150 a 160 gL<sup>-1</sup> (García Revilla, 2008)

En la Figura 1 se muestra el caso en que se emplea miel final como fuente de carbohidratos en condiciones no estériles.



**Fig.1 Esquema de producción de alcohol etílico (García Revilla, 2008).**

García Revilla, 2008, continua planteando que 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 máximo al término de las 15 horas. La producción de alcohol continúa entonces a una velocidad decreciente, concluyendo el ciclo de 24 h a 30 h de fermentación, para obtener una concentración final de alcohol de 6 % a 7 % de volumen.

Tanto la producción de levadura como la de etanol son reacciones exotérmicas, por lo que es necesario eliminar el calor desprendido en el transcurso de la fermentación y mantener la temperatura cerca del óptimo (de 33 °C a 34 °C); de lo contrario la temperatura aumenta hasta 40 °C ó 42 °C, con sensibles pérdidas en el rendimiento (García Revilla, 2008).

Una planta dispone de 8 a 10 fermentadores que operan desfasados, a intervalos de 3 h a 4 h, para garantizar la alimentación continua al sistema de destilación de alcohol. El líquido fermentado es descargado en un tanque de balance capaz de absorber las fluctuaciones del proceso de destilación (García Revilla, 2008).

La productividad típica de un proceso discontinuo clásico en batch es de 1.8 g a 2.5 g de etanol por litro de fermentador en una hora. Esta productividad puede aumentarse de manera sensible si se recircula la levadura producida en el fermentador o se emplea la fermentación continua. En estos casos los valores típicos se encuentran entre 5 g y 8 g de etanol por litro de fermentador por hora. (García Revilla, 2008).

Por su parte Navarro Hernández, 2008, asegura que el cumplimiento del esquema de control de la fermentación es vital para lograr un alcohol etílico con calidad, siendo la medición del grado Brix uno de los factores más importante, por lo que periódicamente durante el proceso se controla su grado para conocer el desarrollo de la fermentación.

Navarro Hernández, 2008, precisa que cuando las determinaciones consecutivas de este parámetro tengan el mismo resultado numérico, la fermentación ha terminado. El tiempo de duración del proceso es de aproximadamente 24 horas y el grado Brix que se alimenta a los fermentadores se calcula sobre la base de los azúcares totales

de la miel final, el grado Brix y el porcentaje de alcohol que se desee obtener, según la calidad de las mieles.

En las destilerías cubanas como medida de control durante el proceso de fermentación en las salas de fermentación, se utiliza el método de determinación del Brix aerométrico de forma directa. Es conocida la importancia de que los operarios de la sala cumplan estrictamente con el esquema de control de mediciones de Brix para ir valorando el avance de la fermentación y determinar el justo momento en que finalice la fermentación no solo de forma visual, al cesar la movilidad por escape de dióxido de carbono en los fermentadores (Navarro Hernández, 2008).

### **Factores que inciden en el no cumplimiento del esquema de control (Navarro Hernández, 2008).**

El seguimiento del proceso fermentativo en nuestras destilerías se dificulta a veces por la escasez de los Aerómetros Brix y los Baumé y por la facilidad de sufrir roturas constantemente al ser utilizados por los operarios durante el proceso continuo por lo que si se logra demostrar la confiabilidad y rapidez en los datos de las mediciones del Brix por el Refractómetro se resolvería el seguimiento del proceso fermentativo de las dos maneras y se obtendrían resultados más alentadores de eficiencia al poder cumplir con las exigencias del Esquema de Control.

### **Importancia del uso de métodos de control de la calidad en fermentación alcohólica (Navarro Hernández, 2008).**

Al utilizar métodos de control de calidad en la fermentación estamos controlando no solo el proceso de fermentación como tal, sino también estamos teniendo un control económico de la destilería, ya que el costo de la tonelada de miel incide directamente en las ganancias de la destilería. El método que se utiliza tradicionalmente es la determinación del Brix mediante el Aerómetro.

El método de determinación del Brix mediante el Aerómetro se basa en el empuje que experimenta cualquier cuerpo sumergido en una fase líquida o gaseosa y en la proporcionalidad que existe en dicho empuje, esto se llama Brix aparente. La determinación aerométrica de los sólidos disueltos puede utilizarse para obtener la masa de solutos en solución, la que fundamentalmente esta compuesta por

sacarosa, sustancia utilizada para graduar los aerómetros Brix, por lo tanto, con ellos se determina sacarosa real en soluciones acuosas puras, lo que se conoce como Brix.

### **Limitaciones del proceso de fermentación.**

La determinación de los factores que limitan la glicólisis fermentativa del etanol son complejos debido a la interrelación existente de la naturaleza de los parámetros intervienen durante el proceso de fermentación. Algunos de ellos se deben tener en cuenta en la fermentación alcohólica industrial. En las limitaciones que surgen durante el proceso se pueden enumerar algunos de los más importantes como son (Wikipedia, 2010):

-- **Concentración de etanol resultante** – Una de las principales limitaciones del proceso, es la resistencia de las levaduras a las concentraciones de etanol (alcohol) que se llegan a producir durante la fermentación, algunos microorganismos como el *saccharomyces cerevisiae* pueden llegar a soportar hasta el 20 % de concentración en volumen.

-- **Acidez del substrato** – El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. Por regla general el funcionamiento de las levaduras está en un rango de pH, que va aproximadamente desde 3,5 a 5,5. Los procesos industriales procuran mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación usualmente mediante el empleo de disoluciones tampón. Los ácidos de algunas frutas (ácido tartárico, málico) limitan a veces este proceso.

-- **Concentración de azúcares** – La concentración excesiva de hidratos de carbono en forma de monosacáridos y disacáridos puede frenar la actividad bacteriana. De la misma forma la baja concentración puede frenar el proceso. Las concentraciones límite dependen del tipo de azúcar así como de la levadura responsable de la fermentación. Las concentraciones de azúcares afectan a los procesos de osmosis dentro de la membrana celular.

-- **Contacto con el aire** – Una intervención de oxígeno (por mínima que sea) en el proceso lo detiene por completo (es el denominado Efecto Pasteur). Esta es la razón por la que los recipientes fermentadores se cierran herméticamente.

-- **La temperatura** – El proceso de fermentación es exotérmico, y las levaduras tienen un régimen de funcionamiento en unos rangos de temperatura óptimos, se debe entender además que las levaduras son seres mesófilos. Si se expone cualquier levadura a una temperatura cercana o superior a 55 °C por un tiempo de 5 minutos se produce su muerte. La mayoría cumple su misión a temperaturas de 30 °C.

-- **Ritmo de crecimiento de las cepas** – Durante la fermentación las cepas crecen en número debido a las condiciones favorables que se presentan en el medio, esto hace que se incremente la concentración de levaduras.

La eficiencia del proceso de fermentación alcohólica con mieles de caña de azúcar manejado en la actualidad, refiere Doménech López, 2009, son los siguientes:

- Internacional        86.6 %
- Cuba                    76.6 %

#### **I.4 El proceso de destilación en la producción de alcohol etílico.**

Norge A. Garrido Carralero (ICIDCA; 2010) en su conferencia titulada “Proceso de destilación”, expresa:

##### **Composición del Vino a Destilar**

Al vino que viene de la fermentación esta compuesto básicamente por alcohol con graduación aproximada de 8 GL y agua. Otros componentes como glicerina, alcoholes superiores, aldehídos acéticos, esterres, furfural, ácidos succinio y acéticos, bagacillos, levaduras y bacterias, azúcares infermentables, sales minerales, materias albuminoides, CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> están presente en pequeñas cantidades. El vino, producto resultante de la fermentación del mosto, posee una composición compleja, con componentes de naturaleza líquida, sólida y gaseosa.

## **Sustancias Líquidas**

Tienen como principal representante desde el punto de vista cualitativo, el alcohol etílico (Alcoholes, esteres, aldehídos, agua, etc.), que aparece en los vinos industriales en una proporción de 7 % a 12 % en volumen, de acuerdo con la naturaleza y la composición del mosto que le dio origen.

## **Sustancias Sólidas**

Son las sustancias presentes en el vino que se encuentran en suspensión en la solución. Las primeras están representadas por las células de levaduras y bacterias, además de sustancias no solubles (Sales de potasio, sodio, carbonatos, etc.) que acompañan al mosto tales como el bagacillo.

## **Sustancias Gaseosas**

El representante principal de los componentes de naturaleza gaseosa es el gas carbónico (CO<sub>2</sub>) que aparece en pequeña proporción en el vino, pero se forma en grandes cantidades durante el proceso fermentativo. Normalmente en las producciones industriales, otro componente gaseoso es encontrado en el vino, el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), que se presenta en pequeñas proporciones y proviene de la melaza que acompaña al mosto. Esta sustancia se altera debido a las condiciones del proceso, causando un ataque químico a los equipos.

## **DESTILACIÓN**

Para la separación del alcohol, se utiliza el proceso de destilación en el cual, los diferentes puntos de ebullición de los componentes de la mezcla son responsables por la separación

La operación es realizada en dos etapas: destilación propiamente dicha y rectificación.

En la destilación el alcohol es separado del vino, y descompuesto en tres corrientes: flema (vapores con graduación aproximada de 45° GL), alcohol de segunda (alcohol con impurezas) y vinazas.

Se eliminan además, las impurezas como ésteres, aldehídos, dióxido de carbono y gases de azufre.

## **RECTIFICACIÓN**

En la rectificación la flema es concentrada para obtener alcohol hidratado con graduación aproximada de 93,0% W/W y flema compuesta de impurezas como aldehídos, ésteres, aminas, ácidos y bases. Es la separación de los constituyentes de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma y la recuperación separada del vapor y el residuo.

Los constituyentes más volátiles de la mezcla inicial se obtienen en mayor concentración en el vapor; los menos volátiles en el residuo líquido. La separación será más o menos completa, según las propiedades de los componentes y el procedimiento seguido en la destilación. En general, la palabra *destilación* se aplica a los procesos de vaporización en los que el vapor producido se recupera, de ordinario por condensación.

En la destilación de los líquidos alcohólicos se pueden recoger tres destilados:

- El primero, denominado *alcoholes de cabeza*, están compuestos por productos de punto de ebullición bajo, como aldehídos y ésteres.
- A continuación tenemos los *alcoholes de buen gusto* o alcohol centro.
- Y finalmente tenemos los alcoholes de punto de ebullición alto, constituidos en su mayoría por los alcoholes superiores (*o de cola*), el alcohol amílico, iso-amílico, propílico, etc.

Al conjunto de todos ellos se les llaman genéricamente *alcoholes amílicos* o *aceite fúsel*.

En la figura 2 se ilustran los procesos de destilación y rectificación.

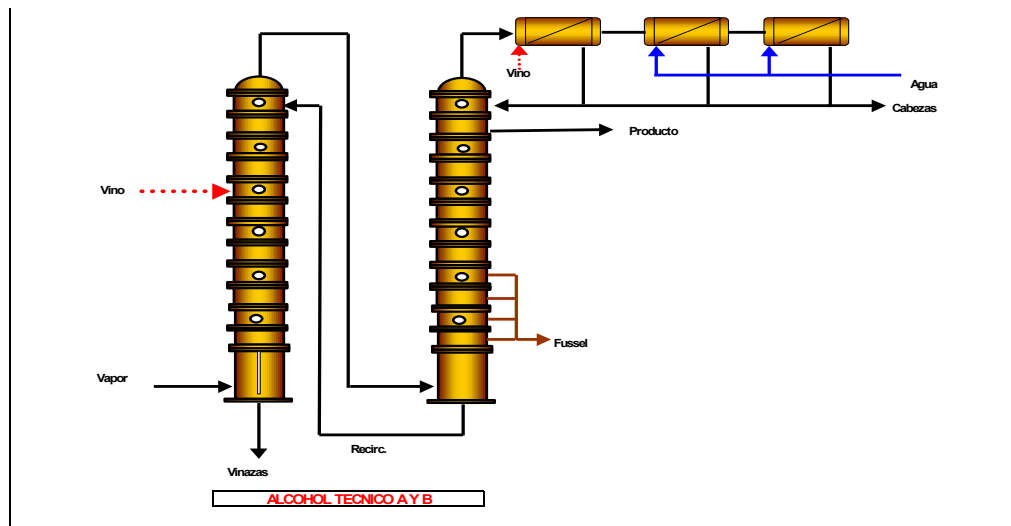


Fig. 2. Destilación y rectificación de los líquidos alcohólicos.

La destilación es la operación o proceso que permite la separación de los componentes volátiles de una mezcla, mediante la adecuada evaporación de los líquidos y condensación de los vapores. Es la técnica universal entre alcohol-agua, consume grandes cantidades de energía térmica, tanto para el calentamiento como para el enfriamiento y es un proceso costoso, pero clave, en la operación de la destilería (Estévez Báez, 2007).

En la producción de alcohol por fermentación, la destilación proporciona un medio para separar el alcohol que contiene la batición fermentada mediante el calentamiento, con el vapor generado por una caldera, en el equipo de destilar y la condensación de los vapores alcohólicos en los desflemadores y condensadores por medio del enfriamiento con agua (Bullion, 2010).

Los principios en que se basa la destilación, añade Bullion, 2010, puede conocerse mediante la interpretación de ciertas leyes físicas como: temperatura, punto de ebullición, presión de vapor, calor específico, calor sensible y calor latente

Los sistemas de destilación de alcohol utilizados son muy variados y pueden constar desde 2 columnas hasta 6 o más, en dependencia del grado de rectificación que se desee. El esquema tecnológico de un sistema de 2 columnas (destiladora y

rectificadora) se basa en la producción de flemas o alcohol de bajo grado y tiene (Gómez, 2008).

Una columna destiladora a la cual llega el mosto (batición fermentada) a una concentración alcohólica de 8-12 % que es previamente calentado por intercambio regenerativo con los efluentes calientes que salen por el fondo de esa misma columna. El alcohol crudo, rico en impurezas, que se obtiene por el tope, es enviado al sistema de condensadores que posee la propia columna (1 condensador total y 2 parciales), parte de esos condensados son reflujados a la corriente de alimentación de la columna destiladora y el resto alimenta la segunda columna o columna rectificadora, en esta columna se eleva el grado alcohólico de la mezcla alcohol agua hasta valores del orden de los 80 ° GL a 85° GL, que es lo que internacionalmente se denominan flemas o alcohol de bajo grado (Gómez, 2008).

#### **1.4.1 Anormalidades en la operación del sistema.**

La operación de estos equipos estará en dependencia del grado a alcanzar y calidad del alcohol que se desee, así como de los por cientos alcohólicos del vino que se destila, en función de ello será la extracción de cabeza y producción (Estévez Báez, 2007).

1. Incremento en la acidez del producto final.

Está dado fundamentalmente por aspectos de la fermentación. Hay que buscar las causas.

2. Exceso de compuestos volátiles.

La presencia de compuestos volátiles en exceso (ésteres o aldehídos) en el alcohol rectificado son indicativos de deficiencias en la relación de extracción de cabeza para una producción dada. Deberá incrementarse la misma cuando exista un incremento de este producto. Tales impurezas tendrán notoria incidencia en el tiempo de permanganato.

3. Exceso de alcohol amílico.

Si en el producto terminado existe la presencia de alcoholes superiores en exceso, estaremos en presencia de deficiencias en las extracciones de cola. En

primer lugar debe revisarse el funcionamiento de la instalación, pues podría ocurrir una obstrucción que impidiera la llegada de aceite al lavador, un exceso de un 5 % de alcohol en las aguas de lavado de amílico es muestra de un deficiente lavado del mismo. Estas aguas en condiciones normales están en el orden de 1 % – 2 %.

#### 4. Regulación del grado.

La caída del grado obedece a un incremento de la extracción del producto o lo que es lo mismo, una disminución en el reflujo, esto debe resolverse con la reducción de la extracción.

#### 5. Pérdidas en aguas residuales.

Estas no se deberán tirar a las zanjas, esta recirculará a la destilación y se llevará conjuntamente con la batición a la columna.

#### 6. Exceso en la presión.

Estos excesos de presión en la columna destiladora, generalmente se reflejan en la columna rectificadora como arrastres con tendencia al paso del líquido conjuntamente con el vapor, cuando se presentan incrementos mayores de 0,21 Kg/cm<sup>2</sup> este parámetro debe regularse lo mismo, si la alimentación es normal y el mantiene los incrementos en la presión, deberá analizarse el estado de la limpieza del equipo.

#### 7. Alteraciones en la operación de los condensadores.

La variación en el flujo y/o temperatura del agua de los condensadores incidirá tanto en la calidad del producto final como en la producción, esto debe velarse con atención.

El proceso de destilación alcohólica en la actualidad, según Doménech López, 2009, alcanza los siguientes valores de eficiencia:

- Internacional      99 %
- Cuba                      96 %

## I.5. El alcohol etílico rectificado

Los requisitos organolépticos del alcohol rectificado lo establece la NC 792:2010. El alcohol rectificado que se estudia posee las siguientes características:

**Aspecto:** Líquido incoloro, brillante, sin sedimentos que se mantendrá tras dilución 30 % v/v. con agua bidestilada.

**Olor:** Característico. Irritante sin olores extraños.

**Sabor:** El alcohol rectificado diluidos a 30 % v\*v con agua bidestilada presentará sabor neutral, ligero picor y nota dulce característica. No presentarán sabores extraños. Adicionalmente los alcoholes finos cumplirán todos los requisitos organolépticos de la ficha descriptiva para alcohol

Los requisitos fisicoquímicos del alcohol rectificado, también inscritos en la propia NC 792:2010 se encuentran puntualizados en la Tabla 2.

**Tabla 2 Requisitos de calidad del alcohol Rectificado.**

Requisitos	Valor
Grado alcohólico expresado en % de alcohol en volumen a 20° C (mínimo)	95.0
Tiempo de Permanganato expresado en minutos (mínimo)	5
Acidez Total expresado en miligramos de ácido acético por litro de alcohol absoluto (máximo)	30
Aldehídos expresados en miligramos de acetaldehído por litro de alcohol absoluto (máximo)	30
Alcoholes superiores expresados en miligramos de alcoholes superiores por litro de alcohol absoluto (máximo)	150
Esteres totales expresados en miligramos de acetato de etilo por litro de alcohol absoluto (máximo)	100

*Fuente: Norma Cubana 792:2010.*

## I.6 Insumos fundamentales y auxiliares en el proceso de producción.

El proceso productivo de la destilería “Argeo Martínez” se encuentra caracterizado por el uso de varios insumos comprometidos con la producción del surtido de alcoholes aquí elaborados. Las especificaciones de calidad aparecen en el Anexo 1.

Los insumos aquí utilizados son:

- **Miel final de caña:** Es el sustrato fundamental, aportando los azúcares para su transformación en alcohol por la acción fermentativa de la levadura, así como fuente de biofactores para el crecimiento y multiplicación del microorganismo.
- **Urea:** se utiliza como fuente de nitrógeno para el desarrollo de las levaduras.
- **Fosfato de Amonio:** Se utiliza como fuente de fósforo ( $P_2O_5$ ) para el desarrollo de las levaduras. Su uso es ocasional, en función del contenido de fósforo de las mieles.
- **Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ):** Se utiliza como corrector del pH y agente bacteriostático.
- **Formol, hipoclorito, carbonato de sodio y cal:** Se utilizan como agentes de limpieza y desinfectante.
- **Bifloururo de amonio:** Es una sal cristalina de color blanco, higroscópica, soluble en agua, la cual tiene comportamiento bacteriostático; o sea, que tiene la propiedad de inhibir el desarrollo y multiplicación de las bacterias.
- **Agua y aire:** Se utilizan como insumos auxiliares. El agua es para el proceso de disolución de las mieles y los sistemas de enfriamiento; el aire para el tratamiento aeróbico del proceso fermentativo, para la instrumentación y uso general.

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **II. 1 Métodos de investigación.**

Se realizó un estudio descriptivo y de intervención en la destilería Argeo Martínez con la finalidad de evaluar el comportamiento de los parámetros tecnológicos que intervienen en la producción del alcohol rectificado y su incidencia en la calidad de este producto según lo indicado en la Norma Cubana 792:2010.

Para ello se emplearon métodos teóricos como:

- Revisión bibliográfica: Se utiliza para analizar las diferentes opiniones que tienen los autores contemporáneos acerca del proceso de producción de alcoholes etílicos y su calidad en los diferentes surtidos según las exigencias actuales del mercado. Permite llegar a un criterio propio sobre el tema en cuestión.
- Método de la teoría fundamentada: Método cualitativo que se encarga de describir las teorías, conceptos, hipótesis y proposiciones con vista a desarrollar una perspectiva teórica en un solo estudio, a partir de la experiencia práctica del investigador.
- Analítico y sintético: Utilizado para determinar los límites y los criterios del objeto a investigar, así como para estudiar cada parte delimitada y compararlas entre sí; sus nexos y elaborar conclusiones acerca de la integridad de todo.
- Histórico Lógico: Se recurre al método para estudiar los diferentes enfoques de los factores causales e investigar sus comportamientos.
- Análisis documental: Al revisar en los archivos la información necesaria.
- Hipotético-Deductivo: Al construir la hipótesis de la investigación.

### **II.2 Materiales empleados en la investigación.**

#### **II.2.1 Parámetros tecnológicos y productivos.**

Para el análisis de los resultados obtenidos se tomaron como testigos las producciones del surtido alcohol rectificado realizadas en los cuatro primeros meses de la campaña alcoholera 2011 - 2012 (diciembre 2011 a marzo 2012). En el período

escogido las producciones de este surtido de alcohol se realizaron en 16 días y fueron evaluadas por el primer químico del laboratorio de la destilería, máximo responsable de la certificación de los parámetros de calidad, en un grupo de ocho lotes (uno en diciembre, dos en enero, uno en febrero y cuatro en marzo) dispuestos para su comercialización. Los parámetros referidos son: grado alcohólico, tiempo de permanganato y los contenidos de acidez, aldehídos, esterres y alcoholes superiores.

El parámetro denominado tiempo de permanganato hasta el año 2011 admitía en la norma derogada (NC 83-31:1987) hasta valores mínimos de 25 minutos para la aceptación del producto terminado con criterios de conformidad para su comercialización con los clientes interesados; el resto de los parámetros de calidad mantendrán los mismos valores registrados en la anterior norma. La norma cubana vigente (NC 792:2010) precisa para este indicador un valor mínimo de 30 minutos para considerarse conforme con las exigencias del mercado.

Para discutir los resultados se hizo necesario del conocimiento del comportamiento en esos días de producción de:

- **Los parámetros tecnológicos de fermentación:** el por ciento alcohólico, la eficiencia del proceso fermentativo de las mieles, el valor de los residuales (cantidad de azúcares no fermentados y que se pierden por no convertirse ni en levadura ni en alcohol), el consumo de los azúcares fermentables, el consumo de urea y el rendimiento obtenido expresado en litros de alcohol extraídos por cada cien litros de batición destilada.
- **Los parámetros tecnológicos de destilación:** la presión del vapor alimentado a la columna destiladora expresado en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ), la temperatura del plato de control donde ocurre la mayor formación de alcohol (vapores alcohólicos), y el porcentaje de eficiencia de la destilación de las vinazas y la cantidad de batición utilizada en la producción.

## **II.2.2 Normas cubanas de procedimientos analíticos para determinar los parámetros de calidad del alcohol etílico.**

Los procedimientos para el análisis de los parámetros de calidad de alcoholes y bebidas alcohólicas están regidos por normas cubanas establecidas por la Oficina Nacional de Normalización. Es necesario para este estudio tener en cuenta las normas cubanas que rigen la calidad de los alcoholes etílicos y sus regulaciones más importantes:

- **Norma Cubana 290:2007. Determinación del grado alcohólico en alcoholes.**

**Objeto:** Esta Norma Cubana establece el método de ensayo para determinar el grado alcohólico en alcoholes, bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas, cócteles y extractos hidroalcohólicos.

**Principio:** El método se basa en la medición de la densidad de las soluciones hidroalcohólicas en los destilados de las muestras de ensayo a 20° C, mediante un alcoholímetro calibrado a esa temperatura que tenga el intervalo adecuado para el grado alcohólico del producto a analizar.

El reactivo utilizado en este análisis es:

- Solución de hidróxido de sodio (NaOH)<sub>6</sub> N.

La medición del grado alcohólico se realiza mediante el siguiente procedimiento:

En una probeta adecuada al tamaño del alcoholímetro y a la cantidad de la muestra destilada, se adiciona una pequeña cantidad para enjuagar la misma. Verter el destilado enjuagando la probeta primero con un poco del mismo destilado. A continuación se vierte el resto del destilado hasta unos cm debajo del nivel total. Introducir el alcoholímetro cuidadosamente junto con el termómetro. El alcoholímetro debe flotar libremente. Se aconseja que esté separado de las paredes de la probeta  $\pm 0,5$  cm. Estabilizar la temperatura y eliminar las burbujas de aire. Efectuar la lectura de ambos.

Si la lectura se realiza a una temperatura diferente de 20° C (293° K), se corrige según la tabla de grado alcohólico por temperatura a 20° C.

Aquellos laboratorios que aún dispongan de alcoholímetros graduados en porcentaje de alcohol en volumen a 15° C emplearán el mismo procedimiento descrito anteriormente pero medirán el volumen de muestra a 15° C y después enfriarán y medirán a esa misma temperatura.

- **Norma Cubana 706:2010. Determinación del tiempo de permanganato en alcoholes.**

**Objeto:** Esta norma establece el método de ensayo para la determinación del tiempo de permanganato del alcohol etílico.

**Principio:** Los alcoholes primarios son oxidados por soluciones diluidas ácidas de permanganato, efectuándose lentamente la reacción en la medida que el alcohol contenga menor cantidad de impurezas a una temperatura determinada.

Los reactivos químicos utilizados.

- Solución de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) 0,2 mg/ml: pesar 0,02 g de permanganato de potasio y disolver en agua, transferir a un matraz volumétrico de 100 ml hasta completar el volumen.
- Solución de cloruro cobaltoso 50 mg/ml. Pesar 5,0g de cloruro de cobalto en agua hexahidratado ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), disolver con agua y trasvasarlo a un matraz aforado de 100 ml.
- Solución de referencia.
- Solución de referencia. se transfieren 10 mL de la solución de cloruro de cobalto y 14 mL de la solución de nitrito de uranilo ambos medidos con pipeta a un matraz de un trazo de 100 mL y se completa a volumen con agua.

El procedimiento de análisis es:

Transferir 50 ml de la muestra de ensayo medidos con pipeta a un tubo Nessler y se sumerge en un baño de agua fría a 15° C más o menos durante 10 min. Se añaden 2 mL de una solución de permanganato de potasio y se agita, anotando la hora exacta de la adición.

A intervalos de tiempo se comprueba el color de la muestra de ensayo comparándolo con la solución de referencia, contra un fondo blanco con buena iluminación. Cuando sean iguales se anota la hora final.

- **Norma Cubana 291:2009. Determinación de la acidez total en alcoholes.**

**Objeto:** Esta norma establece el método de ensayo para determinar la acidez total en bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas y cócteles.

**Principio:** El método se basa en la neutralización de las funciones ácidas totales titulables del producto (excepto el ácido carbónico y el anhídrido sulfuroso), mediante la adición de un hidróxido alcalino, en presencia de un indicador de neutralización, cuyo cambio de color evidencia el punto final de la reacción.

Los reactivos utilizados son:

- Solución de hidróxido de sodio 0,1 y 0,01 N.
- Solución indicadora de Fenolftaleína ( $C_{20}H_{14}O_4$ ) al 1 %.
- Agua destilada neutralizada.

El procedimiento para su determinación se realiza como sigue:

En un frasco cónico de 500 ml se vierten 250 ml de agua recientemente hervida y enfriada, se le añaden 2 ml de la de hidróxido de sodio 0,01 N, a esta agua neutralizada se le añaden con pipeta 25 ml de la muestra (en los casos que se produzca una solución tan oscura que no se aprecie el punto de viraje puede disminuirse el volumen de muestra hasta un mínimo de 10 ml) y se valora con solución de hidróxido de sodio 0,01 N, hasta color rosado, similar al alcanzado durante la neutralización del agua.

- **Norma Cubana 519:2007. Determinación de aldehídos totales en alcoholes.**

**Objeto:** Esta norma establece el método químico para determinar aldehídos totales en bebidas alcohólicas. Es aplicable a alcoholes y aguardientes.

**Principio:** Los aldehídos presentes en bebidas alcohólicas reaccionan con el hidrógeno sulfito, obtenido a partir del metabisulfito de sodio o potasio, formando un producto de adición cristalino.

El exceso de metabisulfito que no reacciona con los aldehídos, se le añade solución de yodo en exceso y se valora con una solución de tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,025 mol/L, utilizando solución indicadora de almidón.

Los reactivos utilizados son los siguientes;

- Solución de metabisulfito de sodio o potasio 0,025 mol /L (0,05 N). Se pesan 2,375 g de metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) o 2,750 g de metabisulfito de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ). Se transfiere a un matraz aforado de 1000 ml. Se disuelve, empleando agua caliente; se enfría y se completa a volumen con agua.

- Solución de yodo 0,025 mol/L (0,05 N). Se disuelve 7,0 g de yodo en una solución de 36,0 g de yoduro de potasio en 10 mL de agua. Se diluye a 1000 mL en un matraz aforado. Se determina su normalidad exacta con solución de tiosulfato de sodio valorada.

- Solución indicadora de almidón 0,02 g/mL Pesar 2 g de almidón soluble y hacer una pasta con una pequeña cantidad de agua hervida. Adicionar lentamente a agua recién hervida y completar a 100 mL.

- Solución de tiosulfato de sodio 0,025 mol/L (0,05 N). Se disuelven 13,0 g de tiosulfato de sodio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) en 1 000 mL de agua y se hierve suavemente durante 5 min. Se deja en reposo durante 24 h y se procede de la siguiente forma:

El procedimiento analítico se realiza:

Se vierten 100 mL de agua en un erlenmeyer de 500 mL, se adicionan 50 mL del destilado (podrá utilizarse 100 mL si la concentración de aldehídos es pequeña) utilizando una pipeta volumétrica y 25 mL de la solución de metabisulfito. Se tapa y se deja en reposo durante 30 min., agitando ocasionalmente.

Posteriormente se le añade, mediante bureta, 25 mL de solución de yodo e inmediatamente se valora el exceso de la solución de yodo con la solución de tiosulfato de sodio, hasta que la solución tome un color amarillo pálido.

Se le adicionan 4 ó 5 gotas de la solución indicadora de almidón y se continúa la valoración hasta la decoloración total.

- **Norma Cubana 534:2007. Determinación de esteres totales en alcoholes.**

**Objeto:** Esta norma establece un método de ensayo para determinar ésteres totales en bebidas alcohólicas. Es aplicable a alcoholes y aguardientes.

**Principio:** Este método de ensayo se basa en la saponificación de los ésteres presentes con hidróxido de sodio calentando a reflujo y posterior valoración del exceso de hidróxido con ácido clorhídrico.

Los reactivos que intervienen en el análisis son:

- Solución de hidróxido de sodio 0,1N. Recientemente valorada utilizando preferentemente como Ftalato ácido de potasio.
- Solución de hidróxido de sodio 0,1 N ó 0,01 N.
- Solución de ácido clorhídrico (HCl aq) 0,1 N. Valorar cada serie de ensayos contra la solución regulada de hidróxido de sodio 0,1 N.
- Solución indicadora al 0,5 % de fenolftaleina. Se disuelven 0,5g de fenolftaleina en 50 ml de alcohol etílico en volumen al 95 %, se agregan 50 ml de agua destilada y se neutraliza agregando solución 0,01 N de hidróxido de sodio hasta débil coloración rosada.
- Solución de hidróxido de sodio 6 N.
- Agua para análisis.

El procedimiento de análisis es el siguiente:

Verter y medir en el matraz volumétrico, 250 ml de muestra a una temperatura de 20°C (293°K  $\pm$ 0,5°K), transferidos cuantitativamente con agua destilada (procurando enjuagar con el agua al menos tres veces el matraz volumétrico), al matraz de

destilación que contiene gránulos o trozos de carburo de silicio o perlas de vidrio, conectándolo al refrigerante mediante el adaptador.

Calentar el matraz de destilación y destilar lentamente recibiendo el destilado en el mismo matraz donde se midió la muestra. El refrigerante terminará en una adaptación con manguera y tubo con la punta biselada que entre en el matraz de recepción hasta el nivel del agua puesta en éste. Por el refrigerante estará circulando siempre agua fría, y el matraz de recepción debe encontrarse sumergido en un baño de agua hielo durante el curso de la destilación. Ajustar la velocidad de destilación de forma tal que haya un pequeño reflujo en el matraz y no salga vapores no condensados del condensador.

Cuando la cantidad de destilado contenida en el matraz se acerque a la marca (0,5 cm. debajo de marca de aforo), suspender la destilación y retirar el matraz de recepción, y llevar el destilado a la temperatura en la que se midió la muestra, procurar no perder líquido. Llevar a la marca con agua destilada y homogeneizar.

- **Norma Cubana 535:2007. Determinación de alcoholes superiores.**

**Objeto:** Este método es apropiado para la determinación de los alcoholes superiores en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico.

**Fundamento del método:** Se basa en la determinación del contenido de los alcoholes superiores isobutílico e isoamílico, por medio de la reacción con una solución de p-dimetil amino benzaldehído (p-DMAB) en medio ácido. La intensidad del complejo formado, se determina por espectrofotometría a una longitud de onda de 540 nm.

Se usarán reactivos con una pureza superior a 99 %, El agua para análisis cumplirá con la NC-SO 3696.

- Etanol (CAS 64-17-5). ). Puede emplearse Alcohol Etílico superfino siempre y cuando no aporte presencia de congéneres del etanol al ser diluido.
- 2-metil-1-propanol (Isobutanol) (CAS 78-33-1).
- 3-metil-1-butanol (alcohol isoamílico) (CAS 123-51-3).
- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)(densidad 1,84 g / mL).

- P-dimetil amino benzaldehído (p-DMAB).

El procedimiento analítico es: Productos que poseen color, azúcar o sólidos disueltos requieren ser destilados antes de someterse a análisis. La destilación será realizada según lo estipulado en la NC 290 Determinación del grado alcohólico.

Para muestras que contienen mas de 6.0 gramos de alcoholes superiores /100 L, diluirla con agua destilada a una concentración entre 2,0gramos y 5,0 gramos de alcoholes superiores /100 L. Se lee el % de Transmitancia o la Absorbancia del color desarrollado en las muestras o las soluciones de trabajo de la curva de calibración en un espectrofotómetro a 538-543 nm contra el blanco de reactivo (se usa la misma longitud de onda tanto para las muestras como para las soluciones de trabajo de la curva de calibración), empleando cubetas de 1 cm. de paso óptico.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III.1 Generalidades del proceso tecnológico.

El presente trabajo asume la caracterización del proceso tecnológico para la producción de alcohol rectificado “A”, utilizado en hospitales y la exportación, obtenido en la UEB de Derivados “Argeo Martínez”. Para este objetivo se referencian aspectos tratados en el Manual de Operación del Proceso de Alcohol de la Destilería “Argeo Martínez” actualizado en el año 2008; revisado y aprobado por la Dirección Nacional de Derivados del que fue entonces Ministerio del Azúcar (MINAZ), hoy Grupo Empresarial AZCUBA. En tal sentido se tuvo en cuenta los procesos: fermentación y destilación.

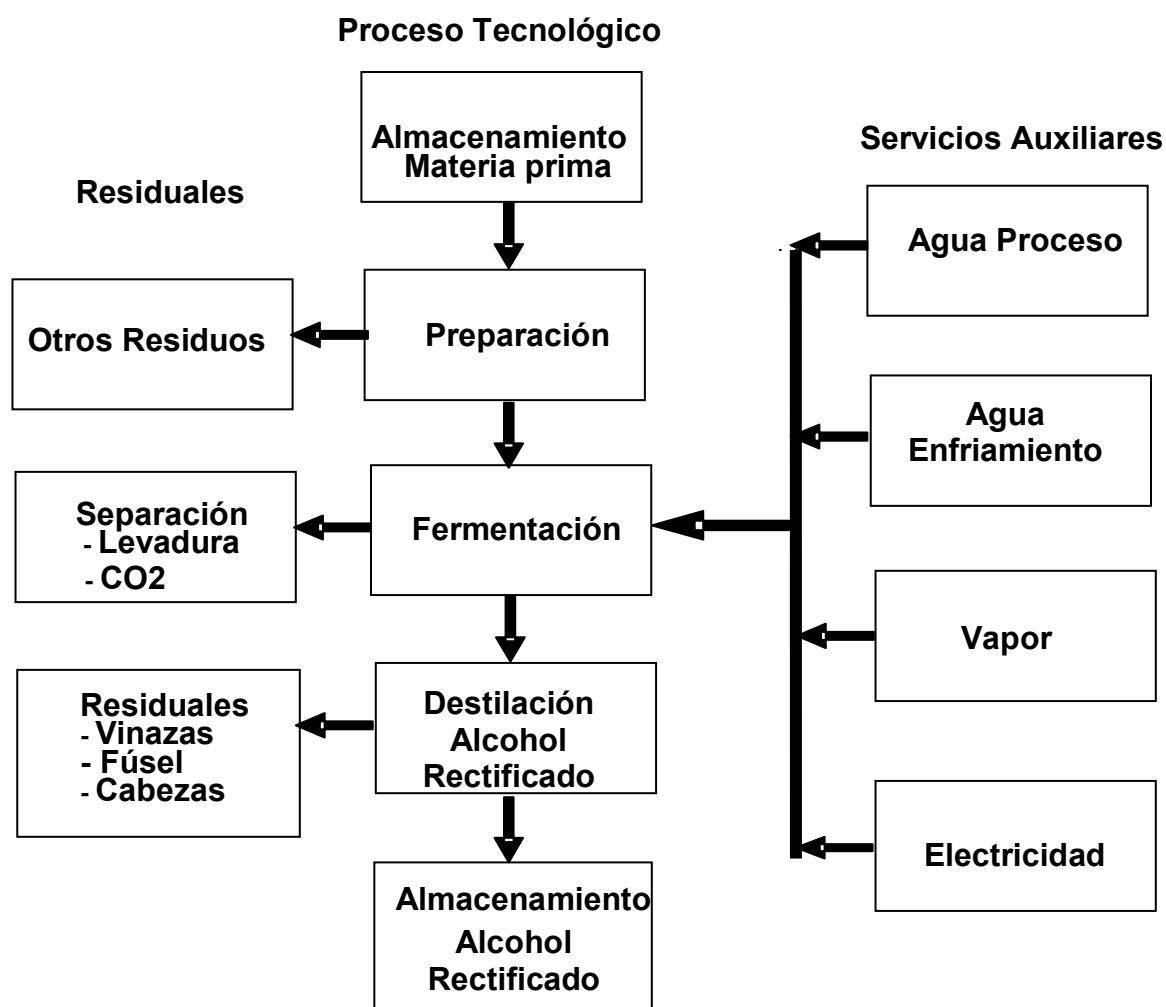


Figura 3. Proceso tecnológico de la producción de alcohol rectificado.

### **III.2 El proceso de fermentación. Manual de Operación del proceso de producción de alcohol de la Destilería “Argeo Martínez”. 2008.**

El proceso fermentativo de las mieles para la producción de alcoholes y aguardientes se inicia en los pre-fermentadores y tiene como función reproducir la masa de levadura necesaria para llevar a cabo la fermentación alcohólica,

Los pre-fermentadores tienen las conexiones usuales para aire, miel diluida, agua, solución de sales (urea), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y vapor. La línea de descarga distribuye a cualquiera de los fermentadores.

Para cualquier ciclo de fermentación, el ciclo de los pre-fermentadores (tres equipos) será como máximo la mitad. En el área de los pre-fermentadores se tienen conexiones para el agua fría y caliente y el medio de cultivo se preparará solamente con miel final. Cuando se inicia la producción de alcoholes y aguardientes, la primera operación a realizar en los pre-fermentadores es la siembra de levadura y se opera de la siguiente forma:

1. Lavar y desinfectar correctamente los pre-fermentadores.
2. Se toma un paquete de levadura y se lleva al recipiente el cual esta provisto de una tapa agujereada que no toque con la levadura depositada.
3. Encima de la tapa agujereada se coloca un paño húmedo, esta operación se deja aproximadamente dos horas.
4. Se prepara un pre-fermentador con batición con el brix seleccionado por el laboratorio con la cantidad de ácido y sales de urea necesaria.
5. De esta batición se toman dos o tres recipientes donde se disuelve la levadura preparada dejándose en reposo aproximadamente una hora.
6. De la batición preparada con anterioridad se toma un tanque de 55 galones al que se le adiciona los recipientes con la levadura dejándose en reposo durante dos horas.

7. Finalmente se adiciona este tanque de batición con la levadura en el pre-fermentador ya preparado y se continúa en el proceso de fermentación. A este proceso se le aplica aire desde su comienzo.
8. Durante el proceso fermentativo del pre-fermentador se controla la disminución del brix cada una hora hasta que se logre la mitad más dos del brix de la batición alimentada.
9. Una vez logrado se procede a realizar el corte del pie, el cual consiste en dejar en el pre-fermentador una quinta parte de la cantidad del producto fermentado y depositar en el fermentador la otra cuatro quinta parte del mismo.
10. Luego, la cantidad de batición que se dejó en el pre-fermentador es alimentada con batición al brix seleccionado hasta llenarse el mismo, se adicionan los nutrientes necesarios (urea y ácido sulfúrico) y se le aplica aire. Se repite la operación desde el punto ocho hasta el momento adecuado del corte hasta que pase a un próximo fermentador. La sala de fermentación cuenta con ocho fermentadores y dos llamados claro, encargados estos últimos de recepcionar el vino listo para destilar.

Los parámetros fundamentales objeto de análisis son:

1. El grado brix de la batición debe ser el 70% de la utilizada para los fermentadores.
2. El grado brix final de la fermentación debe de ser la cantidad más dos del grado brix de la batición.
3. El conteo celular mínimo es de 250 millones/cc.

Otros parámetros a tener en cuenta durante este proceso fermentativo son los que se reflejan en la Tabla 3

**Tabla 3. Parámetros del proceso fermentativo.**

Viabilidad mínima (%)	98
pH del medio	4,2 – 4,5
Aplicación de aire	Hasta el final de la fermentación
Temperatura de la fermentación	33 °C (máximo)

*Fuente: Manual de Operación del proceso de producción de alcohol.*

Cada vez que se vacía un pre-fermentador se procede a limpiar y esterilizar el equipo asumiendo los siguientes pasos:

1. Limpiar el pre-fermentador con agua a presión, preferentemente caliente a una temperatura de 80° C.
2. Aplicar vapor durante un período de 20 a 30 minutos.
3. Bañar toda la superficie interior del equipo con solución desinfectante de hipoclorito de sodio o formol.
4. Mientras se realicen las operaciones anteriores se aplica vapor a las tuberías de descarga durante unos 15 minutos.

Los análisis que se realizan al proceso de pre-fermentación son los siguientes:

**Conteo celular y viabilidad:** Los conteos celulares deben ser abundantes y la viabilidad debe ser máxima, es decir, se requiere mucha levadura vigorosa y bien desarrollada. Es necesario reproducir levadura hasta el grado estrictamente necesario para lograr ciclos de fermentación apropiados en los fermentadores, también conocidos como corbatos,

**Tiempo de fermentación:** Es importante las horas que tarda un pre-fermentador en completar su fermentación, así como la igualdad entre los ciclos de sus similares, solo se admite variación de 30 minutos, este indicador es muy preciso de la uniformidad y calidad de los pre-fermentadores. Cuando existe diferencia entre los ciclos puede deberse a las siguientes causas: concentración de azúcares (grado brix en la batición), cantidad de levadura inicial en el corte, cantidad de nutrientes aplicados, grado brix final, temperatura de fermentación y limpieza y esterilización.

**Temperatura máxima:** La temperatura mayor de 33° C perjudica la propagación de la levadura y su viabilidad, las elevaciones de temperatura en los pre-fermentadores tiene el siguiente origen: excesiva concentración de azúcar en el medio.

**Contaminación o infección bacteriana:** Las infecciones bacterianas causan importantes perjuicios en la sala de fermentación afectando la producción, tanto de alcohol como de levadura y los rendimientos.

**Aspectos generales de las células:** La observación microscópica comprende un examen general del aspecto de la célula de levadura. Las características más importantes son: forma, tamaño y aglutinamiento.

La deformación más común es el alargamiento de la célula que adquiere el aspecto de un grano de arroz.

El aglutinamiento denuncia una situación grave y cuando ocurre se puede tomar como medidas aumentar la cantidad de ácido para disminuir el PH no menos de 3,8 y de no resolverse de este modo, se procede a liquidar el pre-fermentador desinfectando todo el sistema y recomenzar una nueva pre-fermentación.

En el proceso de fermentación es donde ocurre la formación del alcohol, en esta fase no se consume nutrientes, solo en caso necesario y en pocas cantidades y se suprime la aeración. El ciclo de diseño de la fermentación es de 32 horas, de ellas 24 horas para la fermentación, 4 horas para destilarlo y el resto para la limpieza y la holgura.

La fábrica de alcohol necesita aproximadamente de seis fermentadores, de los ocho que existen en el área, con una concentración media alcohólica de 6% para completar la capacidad potencial de producción diaria de 300 HL de alcohol a 100° GL.

Las razones por las cuales es necesario el llenado de los fermentadores por refrescos son las siguientes:

1. Contribuye a dominar mejor la elevación de la temperatura.

2. Las concentraciones de azúcar se mantienen durante la mayor parte del proceso entre límites máximos y mínimos muy aproximados entre si, proporcionando una uniformidad en el medio.
3. La formación de alcohol, progresiva y constante, se desarrolla paralelamente a la de propagación de la levadura.

El método de llenado por refrescos exige varios cuidados que debe tenerse en cuenta para el logro de beneficios mayores:

1. Mantener máxima uniformidad en la diferencia entre el grado brix inicial y final de cada etapa.
2. Garantizar la máxima uniformidad en el grado brix de la batición que recibe los fermentadores.
3. Mantener un orden de trabajo que permita alimentar cada fermentador en el momento exacto que le corresponda. Los adelantos y/o retrasos en las etapas son siempre perjudiciales.

Los parámetros más importantes a controlar en los fermentadores son:

1. Grado brix de la batición. El mismo es indicado por el laboratorio, conforme al análisis de la miel.
2. Temperatura durante la fermentación, 33° C máximo.
3. Concentración final de alcohol, 6,5 % mínimo.
4. Concentración final de la levadura, 2,5 % en volumen (mínimo).
5. Disminución del pH de 3,8 – 4,0

El procedimiento operativo en el llenado de los fermentadores por el método de refrescos es el siguiente:

1. Cuando se adiciona el pie de prefermento, se echa la misma cantidad de batición al brix establecido en ese momento.
2. Una vez iniciada la fermentación se espera que el grado brix baje dos puntos y se adiciona el primer refresco.

Los medios de enfriamiento en los fermentadores está previsto a través de un intercambiador de placas, que presta servicio un intercambiador para dos fermentadores en forma alternativa en posición de fase y dispone de un tiempo máximo de enfriamiento de 16 horas para el ciclo proyectado. Se encuentran de esta forma los fermentadores 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, 7 y 8; los cuales son operados de forma consecuente con este principio. La capacidad de enfriamiento se encuentra establecida para no permitir temperaturas mayores de 33° C.

A cada fermentador debe realizársele un análisis independiente para conocer los errores y deficiencias ocurridas. Para este análisis se tomaran:

**Por ciento alcohólico.** Si no se alcanza el valor mínimo escogido por la fábrica para basar su producción puede deberse a:

- Grado Brix de la batición cruda por varios orígenes: cálculo erróneo del grado brix en función del contenido de azúcares de la miel, descuido en la operación del disolutor de miel y la densidad de la miel fluctuante.
- Fermentación incompleta. Se puede comprobar cuando los azúcares residuales sean más altos.
- Infecciones bacterianas. Puede dar lugar a transformaciones en el alcohol (oxidación o ácido acético) y a la presencia de sustancias metabólicas residuales que inhiben la fermentación alcohólica. El examen microscópico sistemático y las determinaciones de acidez inicial y final, indican la existencia de infecciones provocada por la insuficiente asepsia en el fermentador procediendo a realizar una limpieza total de sistema.

**Concentración de levadura.** Las causas de baja concentración son las siguientes:

- a) Mal trabajo de pre-fermentación.
- b) Insuficiencia de nutrientes.
- c) Temperatura elevada superiores a 33 °C. Es importante mantener un nivel uniforme de la temperatura.
- d) Infecciones bacterianas.

**Azucares residuales.** Constituye el mejor indicador del grado de agotamiento obtenido en el fermentador. El coeficiente (R/I) residuales/infermentables no debe ser mayor de 1,20; si es menor de 1,0 cabe la posibilidad de uno o más valores utilizados en los cálculos son erróneos.

**Grado Brix de la batición.** Es fundamental la comprobación horaria de la batición que se alimenta a los fermentadores, porque de su uniformidad y de mantener los valores prefijados por el laboratorio dependen el porcentaje de alcohol y levadura que se obtenga, el mantenimiento de una marcha regular de la sala de fermentación y la estabilidad de operación de los aparatos de destilación que se traduce en ahorro de vapor y calidad uniforme en el producto.

**Grado Brix de la batición al final del fermentador.** Es una guía excelente para juzgar el trabajo en la fermentación; basta examinar en conjunto el grado brix final de los fermentadores en el día y saltarán a la vista los valores anormales. Este valor tiene una relación directa con el porcentaje de alcohol, concentración de levadura, azúcares residuales, tiempo de fermentación y el grado brix de la batición cruda.

A un grado brix final más alto de lo normal corresponderá:

- a) Por ciento de alcohol y/o concentración de levadura más bajo.
- b) Azúcares residuales más altos.

El grado brix final alto es inicio de la fermentación incompleta.

**Ciclo de fermentación.** Es importante la igualdad de los ciclos de fermentación y en los ciclos totales de trabajo de los fermentadores, estos pueden fijarse entre 18 y 24 horas con una variación de dos horas aproximadamente.

**Temperatura máxima.** La presencia de temperaturas anormales denuncia el trabajo incorrecto en la secuencia de los refrescos y exceso de azúcar.

**Acidez inicial y final.** Sirve para el conocimiento de la presencia de una infección bacteriana desarrollada en el curso de la fermentación.

La acidez inicial es la que tiene la batición cruda antes de entrar al fermentador y la final la que tiene la batición una vez concluida el ciclo de fermentación.

### **III.2.1 Condiciones específicas de la fermentación para la producción de alcohol rectificado.**

Las condiciones consideradas ideales para el proceso fermentativo destinado a la producción de alcohol rectificado son:

- Fermentaciones rápidas y microbiológicamente limpias.
- Buena calidad de la miel (materia prima): fresca y con una relación de azúcares fermentables/Bx que sea del 60% o superiores.
- Utilización del bifloruro como bacteriostato para frenar el desarrollo de bacterias en la batición y beneficia la eficiencia general del proceso.
- Adición de sales (urea) hasta 1,0 kg/hL de aguardiente a producir para el aporte de nitrógeno para un mejor desarrollo de la levadura.
- Fermentaciones donde se obtenga cortos ciclos y esto se logra con corridas de batición entre 14 – 16° Bx.
- Se requiere de no demorar la destilación del vino una vez concluida la fermentación.
- Extremar la limpieza de los fermentadores.
- No permitir pH superiores a 4,5 en los prefermentadotes, ni a 5,5 en los fermentadores.
- Hacer uso de los intercambiadores de calor para evitar la elevación de las temperaturas, aspecto que frena la formación de alcohol durante el proceso fermentativo.

### **III.3 El proceso de destilación. Manual de Operación del proceso de producción de alcohol de la Destilería “Argeo Martínez”. 2008.**

El vino a destilar (batición fermentada) proveniente de los tanques es bombeado hacia el calentavino que logra incrementar su temperatura unos 30° C, seguidamente penetra en el desgasificador el cual elimina los gases ocluidos y cierta cantidad de vapores alcohólicos que sean recuperados por el condensador de

cabeza. El vino calentado y desgasificado penetra en el primer plato, mediante una sifa de la columna destiladora.

En esta columna por su base se evacuan las vinazas (mosto) agotado mediante una sifa que impide escapar el vapor que se alimenta en la propia paila y cuya presión es regulada por la válvula automática en función de la presión en la base.

Las flemas ricas en alcohol y en fase de vapor abandonan la destiladora por el tope y son conducidas hacia la columna rectificadora. Estas columnas poseen dos secciones, la superior de rectificación: concentra alcohólicamente las flemas mediante el contacto con los reflujos que retrogradan el tope y la inferior de agotamiento, elimina el contenido de alcohol de estas corrientes mediante su contacto con vapor desde la base.

La fuente fundamental de calor de esta columna, la constituyen la flema, quedando el vapor desde la base únicamente como una fuente complementaria para el agotamiento, las flemazas (aguas residuales) despojadas del alcohol, abandonan la columna por la paila mediante la sifa, el vapor se alimenta automáticamente mediante un control similar a la destiladora.

La depuración se continúa mediante la extracción de aceite en la zona cercana a los 50° GL de concentración. Esta zona posee diversas conexiones que permiten seleccionar el plato de mayor concentración del fúsel de la columna para inyectarlo mediante las bombas a un enfriador y de ahí a un lavador de amílico, esta mezcla penetra por la parte inferior de la columna de lavado mientras por el tope se inyecta agua fría, el aceite separado se va concentrando y decantando en la zona superior del equipo de donde es extraído periódicamente hacia el tanque de decantación.

El residuo que contiene el alcohol se extrae por el fondo de la columna mediante una sifa invertida y se alimenta por gravedad a la sección de agotamiento de la columna rectificadora.

Los vapores de gran fuerza alcohólica abandonan la columna por el tope y pasan al calentavinos: el exceso que no puede ser condensado en él, pasa al condensador principal, el cual regula la cantidad de vapores a pasar del condensador de cabeza mediante el control de su agua de enfriamiento. La cantidad de vapores en cabeza

modifica la temperatura de ese condensador enfriador, y esta es tomada como variable para regular la inyección de agua.

Los condensados del calientavinos y condensadores son calentados y enviados como reflujo a la columna rectificadora mediante una sifa que proporciona el sello adecuado.

La extracción de condensados del equipo, de cabeza, se realiza mediante la botella que permite la segregación de los inconfensables, el reflujo y las cabezas.

El alcohol producto se extrae de varios platos situados algo alejados del plato de reflujo: esta zona entre reflujo y extracción conocida como zona de pasteurización, permite obtener un alcohol con menos impureza de cabezas o ligeras, la cantidad a extraer puede ser regulada por un control de temperatura cuya señal se toma en la zona de rectificación de la columna, el alcohol extraído se enfría en un refrigerante por gravedad y de ahí a los tanques colectores.

### **Operación de la columna destiladora.**

La columna destiladora, la primera en el proceso de destilación, requiere para su operación una presión de vapor de  $.0.28 \text{ Kg/cm}^2$ . Los pasos son los siguientes:

1. Inyectar agua a los condensadores.
2. Se alimenta con agua la columna siguiendo el flujo de la batición, se revisan juntas y posibles puntos de fuga.
3. Esperar que aparezca el líquido en la paila hasta el nivel de trabajo e iniciará la alimentación de vapor que seguirá todo el flujo del proceso.
4. Una vez comprobado que no exista anormalidades se abrirá paulitanamente la alimentación de batición y simultáneamente se cerrará el agua con un ajuste conveniente de la alimentación de vapor, la columna se carga lentamente y disminuye la temperatura hasta que estabilice.
5. Bajo las anteriores condiciones el mosto debe salir completamente agotado.

### **Operación de la columna rectificadora.**

La columna rectificadora, la segunda en el proceso de destilación, necesita de 0,21 Kg/cm<sup>2</sup> y requiere de los siguientes pasos:

1. Se realiza en serie con la destiladora.
2. Al ponerse en marcha se mantienen cerradas las extracciones hasta que el plato de control alcance la temperatura normal de trabajo (88-92° C). Esta temperatura tendrá variación en dependencia del grado alcohólico que se vaya a producir, para la producción del surtido alcohol fino A el rango óptimo de la temperatura es de 82 – 84° C.
3. Establecida la temperatura se inician las extracciones en las proporciones que la calidad lo requiera.

### **III.3.1 Características de la columna destiladora y rectificadora y parámetros de operación.**

En la planta de alcohol, las columnas instaladas (destiladora y rectificadora) para la producción de alcohol rectificado están diseñadas para obtener una producción diaria de 300 hL.

El material de construcción de estos equipos tecnológicos (destiladora y rectificadora) es íntegramente de acero inoxidable. La columna destiladora es de modelo SIME 09001 (modificado) compuesto por 23 platos perforados y una dimensión de 1.700 m de diámetro y 12.732 m de altura. La columna rectificadora es del modelo SIME 09003. Compuesta por 12 platos de agotamiento y 43 de rectificado y un diámetro de 1.500 m y una altura 14.955 m

Los parámetros de operación concebidos para la buena eficiencia de la columna son:

- Alimentar la columna a un flujo de 18 m<sup>3</sup>/h a 30 m<sup>3</sup>/h.
- Controlar las temperaturas de los condensadores primario y secundario, las cuales deben ser de 78 ° C y 80 ° C respectivamente.

- La extracción de alcohol de cabeza debe comportarse a un nivel de 100 L/h a 120 L/h. Este subproducto constituye impurezas que atentan contra la calidad del producto, específicamente eliminar el contenido de esteroides y aldehidos.
- Obtener una producción de alcohol rectificado entre 1000 L/h y 1500 L/h.
- Obtener un grado alcohólico de 95° GL como mínimo. Mantener este grado resulta una operación muy celosa y es necesaria la constancia en la presión
- El vapor en la paila de la columna, el caudal de alimentación de vino, el agua del condensador principal y el flujo de las extracciones.
- Obtener un tiempo de permanganato entre 15 min a 20 min como mínimo.
- Realizar una extracción de cola. El subproducto mayoritario es el alcohol amilico y el propanol, afectando la calidad del producto final. El amilico se realizará una extracción por turno, aproximadamente de 30 min y el propanol, una vez por turno aproximadamente durante 20 min por la válvula # 13 después de haber comprobado mediante análisis, que el alcohol que se encuentra en la misma tiene un grado alcohólico entre 85 v/v a 90 v/v.

### **III.3.2 Parámetros que influyen en la obtención de una buena calidad del producto.**

1.- La alimentación del producto fermentado se realiza a partir de dos factores fundamentales:

- Por ciento alcohólico de la batición.
- Disponibilidad de la batición para destilar.

Es importante tener en cuenta el primer aspecto a fin de evitar perdidas en las aguas residuales de la columna rectificadora o en los mostos de la destiladora.

Hay que tener en cuenta la disponibilidad de batición, ya que es inadmisibles destilar un fermentador que no haya concluido su ciclo fermentativo. Es preferible mantener una estabilidad en la alimentación que permita la continuidad, a tener que paralizar el proceso productivo por falta de batición fermentada.

## 2.- Exceso de alcoholes volátiles

La presencia de compuestos volátiles en exceso (ésteres y aldehídos) en el alcohol rectificado son indicios de deficiencias en la relación de extracción de cabeza para una producción dada. Deberá incrementar la extracción de las mismas. Los valores establecidos de extracción para esta producción deben ser de 100 a 120 L/h

Tales impurezas tendrán notoria incidencia en el tiempo de permanganato.

El hecho de sacar cabeza garantiza que el flujo este retornando a la columna rectificadora a la máxima temperatura posible y garantiza la regulación de alimentación de agua al condensador principal.

## 3.- Exceso de alcohol amílico

Si en el producto terminado existe la presencia de alcoholes superiores en exceso, estamos en presencia de deficiencia en las extracciones de cola y específicamente en la extracción de amilico.

La extracción de alcohol amílico resulta importante en la columna rectificadora por las siguientes razones:

- Es un producto con un mercado asegurado.
- Es imprescindible para producir alcohol rectificado. La extracción del amílico permite mayor calidad con un mayor tiempo de permanganato.
- Si no se extrae resulta un producto corrosivo para la columna.

## 4.- Regulación del grado

La caída del grado, obedece a un incremento en la extracción de producto o lo que es lo mismo, una disminución en el reflujo, esto debe resaberse con la reducción de la extracción de Producción.

## 5.- Perdidas en aguas residuales

Este problema se debe resolver de forma inmediatamente alimentando mayor cantidad de vapor a la paila o disminuyendo la alimentación a la columna. Esta agua

no deben tirarse a la zanja, estas se recuperaran en tanques receptores para posteriormente ser reprocesadas.

#### 6.- Exceso en la presión

Estos excesos de presión en la columna destiladora generalmente se reflejan en la columna rectificadora con arrastre de líquido con el vapor. Esto se resuelve regulando la presión a los valores normales.

### **III.4 Evaluación de la producción de alcohol rectificado con criterios de no conformidad en los parámetros de calidad realizados con equipos de medición diferentes a los atilizados en la fábrica.**

En el transcurso de varios años hasta el 2012 la producción de Alcohol Rectificado en la UEB “Argeo Martínez” cumplió con los parámetros de calidad según Norma Cubana NC – 792: 2010 para Alcohol Etílico. La determinación de los diferentes requisitos a cumplir por dicho producto fueron realizados usando las técnicas analíticas establecidas para cada caso como grado alcohólico, expresado en grado alcohólico en volumen a 20°C, tiempo de permanganato expresado en minutos, acidez total ( mg de Acido Acético/L de Alcohol Absoluto), aldehídos ( mg de Acetaldehído/L de Alcohol Absoluto), Ésteres ( mg de Acetato de Etilo/L de Alcohol Absoluto) y Alcoholes Superiores ( mg de Alcoholes Superiores/L de Alcohol Absoluto).

Estas técnicas analíticas fueron desarrolladas con los equipos de mediciones asignados en cada laboratorio para cumplimentar tales determinaciones, el fotocolorímetro que se usa para la determinación de la absorbancia para el cálculo de los Alcoholes Superiores

La Tabla 1rRefleja algunos resultados de la calidad de alcohol rectificado en estas circunstancias.

**Tabla 4. Calidad del alcohol rectificado con criterios no conformes.**

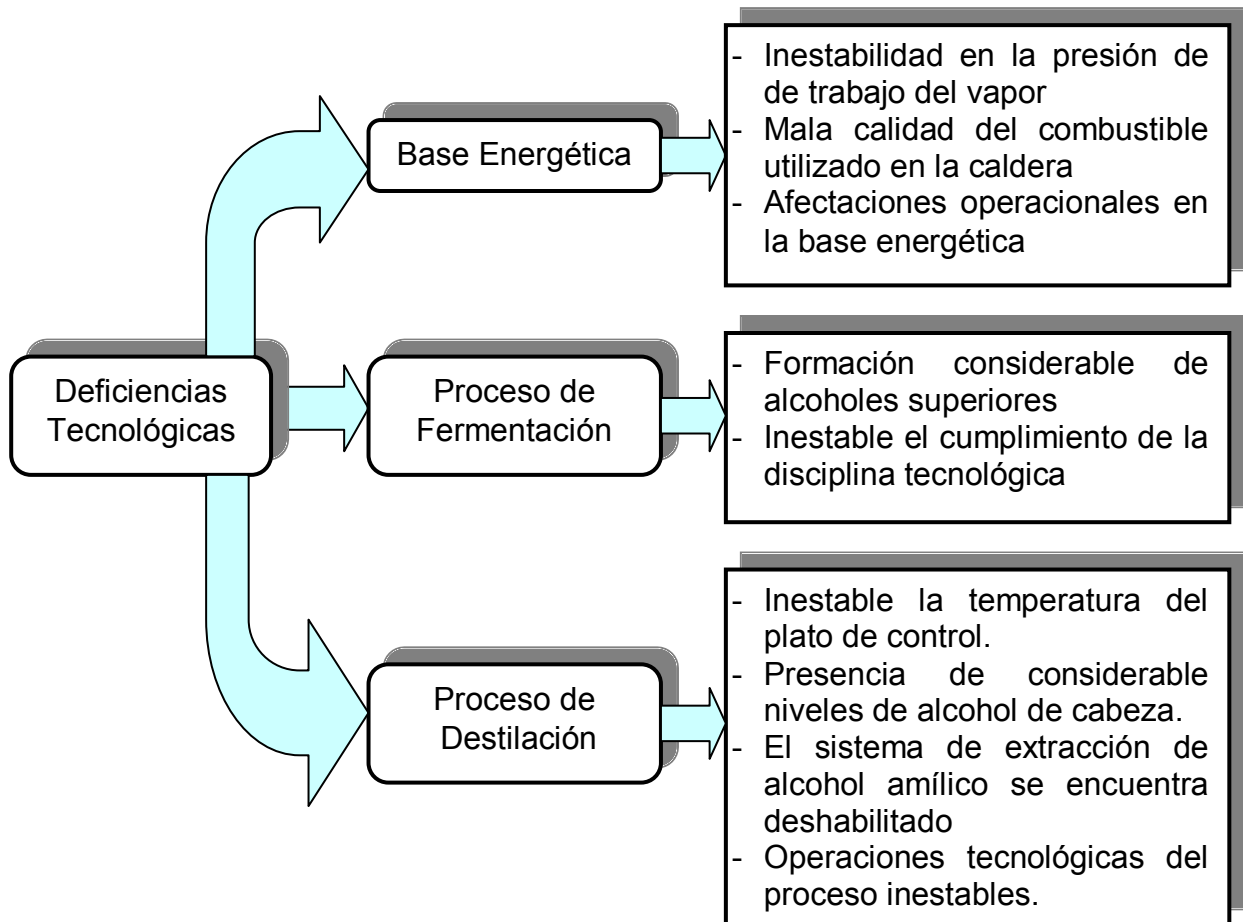
Muestras	Grado Alcohólico	Tiempo Permanganato	Acidez	Ésteres	Alcohol	Alcohol Absoluto
1	95.0	5	1.71		3.76	133.0
2	75.2	13	0.50		11.54	138.6
3	95.1	8	1.50		18.51	127.5
4	95.4	14	1.90	4.98	8.51	- 232.9
5	95.4	15	12.0	9.32	0.46	95.1
6	95.1	9	1.97	1.92	2.69	-233.2
7	95.1	7	1.95		1.39	140.1
8	95.4	15	1.20	9.32	0.46	95.7
9	95.0	9	0.97	7.92	0.69	165.7
10	95.2	17	1.66	8.13	0.46	111.9
11	95.6	10	4.57	12.23	2.37	131.73
12	95.2	12	1.62	4.70	0.46	291.4

Fuente: Hoja de análisis laboratorio Destilería Argeo Martínez

Haciendo una evaluación de la recopilación de datos de los diferentes parámetros determinados la calidad del producto terminado se observa que la mayoría de los resultados se encuentran entre los rangos establecidos, excepto las determinaciones de Alcoholes Superiores que se encuentran por encima de los valores permisibles (150 mg de Alc. Sup/ Dts Alc.)

A finales del año 2012, nuestro país comenzó la evaluación por Plantas de Alcohol de la Calidad Rectificado para comenzar la exportación del mismo pero con la utilización de otros equipos de medición más sofisticados por la exigencia del mercado internacional. Estos análisis fueron utilizados a nivel nacional en el Instituto Cubano de la Industria Derivada de la Caña de Azúcar (ICIDCA) mediante la cromatografía de gases, siendo este equipo utilizado a nivel internacional.

Al realizar la investigación de los factores que determinaron el incumplimiento del tiempo de permanganato fue necesario remitirse al comportamiento de los parámetros tecnológicos que inciden en los procesos fermentativos y de destilación, e influyen en los resultados de los parámetros de calidad del alcohol rectificado "A".



**Figura 4. Deficiencias tecnológicas presentadas en la producción de alcoholes.**

### **III.5 Medidas Tecnológicas realizadas en el proceso de producción para obtener Alcohol Rectificado de Calidad.**

El producto investigado, Alcohol Rectificado, fue sometido a este tipo de evaluación mediante este equipo donde los Alcoholes Superiores no se encontraban en el rango de los requisitos establecidos. Por la necesidad de exportarlo se toman medidas tecnológicas con el objetivo de darle solución a la dificultad presentada.

1. Reinstalación del sistema de cola de la columna rectificadora. La extracción de alcohol de cola en el proceso de destilación (ésteres, aldehídos, etc.) se incorporaba de nuevo al proceso de destilación, modificándose, enviando las mismas a un tanque receptor para posteriormente ser procesado para la producción de otro tipo de alcohol.
2. Instalación de una válvula en el reflujo de los condensadores de cabeza. Esta válvula persigue el objetivo de regular la cantidad de reflujo a la columna

disminuyendo la reincorporación al proceso de destilación de alcoholes de baja calidad.

3. Crear una estrategia de trabajo que permitiera la correcta extracción de amílico de la columna, este micro – componente esta clasificado dentro de los alcoholes superiores que deben ser eliminado por afectar el bouquet y sabor de los alcoholes.
4. Incorporación al proceso de destilación la extracción del propanol, micro componente mayoritario entre los alcoholes superiores.
5. Evaluación de la calidad de la materia, mieles, con respecto al contenido de azucares para introducir al proceso fermentativo la cantidad de azucares necesarios para mantener la formación de alcoholes en batición (% alcohólico) en rangos no elevados y evitar alargamiento de ciclos fermentativos que provocan formación de micro – componentes (ésteres, aldehídos, acidez y alcoholes superiores) que afectan la calidad del producto terminado.
6. Disminución del tiempo de espera de batición fermentada para ser destilada para evitar la formación de micro – componente (ésteres, aldehídos, acidez y alcoholes superiores) dañino para la calidad final del producto.
7. Exigencia con el cumplimiento de la disciplina tecnológica en el proceso fermentativo y el proceso de destilación.
8. Mantener una esmerada higienización de los equipos tecnológicos para evitar contaminaciones bacterianas enemigas del proceso fermentativo afectando su rendimiento alcohólico.

Una vez que se puso en práctica todas estas mejoras tecnológicas se continuó con la producción de Alcohol Rectificado obteniendo los requisitos de las especificaciones de calidad establecida por la norma cubana y las deseadas para poder ser exportados.

### **Comportamiento de las producciones después de las mejoras efectuadas.**

La siguiente tabla expresa el comportamiento de los parámetros de calidad del Alcohol Técnico A Rectificado.

**Tabla5. Comportamiento de los parámetros de calidad actuales.**

<b>Muestra</b>	<b>Grado alcohólico</b>	<b>Tiempo Permanganato</b>	<b>Acidez</b>	<b>Ésteres</b>	<b>Aldehídos</b>	<b>Alcoholes Superiores</b>
1	95.7	20	36.41	-	22.9	81.28
2	95.8	19	9.59	4.9	2.30	71.53
3	95.7	22	30.00	-	18.39	63.86
4	95.7	23	12.02	4.8	13.79	91.92
5	95.9	28	14.39	99.93	22.94	73.38
6	95.7	25	12.02	100.14	20.69	65.80
7	95.6	22	21.65	100.24	16.11	980.39
8	95.7	24	21.63	99.7	29.88	73.54
9	95.5	21	19.27	78.14	4.6	71.75
10	95.6	20	10.54	117.38	36.8	46.60
11	95.6	22	13.18	99.82	21.8	47.46

Fuente: Hoja de análisis Destilería “ Argeo Martínez” Periodo: Enero –Mayo 2013

En la tabla 5 se observan los altos valores del grado alcohólico y tiempo de permanganato que fue necesario obtener en el producto terminado para lograr valores aceptables de alcoholes superiores menores que lo establecido por el equipo del foto colorímetro para que al ser realizado por la cromatografía de gases se encontrara en las especificaciones de calidad requerido. Los aldehídos y acidez se encuentran entre los requisitos establecidos los ésteres si encuentran algo elevado incumpliendo en algunos valores.

**Comparación de los resultados de especificaciones de calidad de alcohol rectificado realizado por el método de fotocolorimetría y cromatografía de gases. Muestreo realizado antes de adoptar las medidas tecnológicas.**

La siguiente tabla muestra los resultados de las especificaciones de calidad del alcohol rectificado por el método fotocolorimetria y cromatografía de gases antes de ser adoptadas las medidas tecnológicas

**Tabla 6: Comparación resultados de especificaciones de calidad de alcohol rectificado**

Muestra	Grado	Tiempo de permanganato	Acides	Ésteres	Aldehídos	Alcoholes superiores
Fotocolimetría	95.0	7	11.7	-	-	253.4
	95.0	9	0.97	79.2	69.0	165.7
Cromatografía de gases	95.1	5	14	121.0	21.6	374.1
	95.1	5	12	116.2	1.6	258.5

Fuente: Hoja de análisis Destilería “Argeo Martínez” Periodo: Año: 2011-2012

En la tabla #6 se muestra el comportamiento de los análisis realizados al alcohol rectificado mediante la utilización de dos sistemas de medición observándose gran diferencia en la determinación de los alcoholes superiores siendo muy elevado por el método de cromatografía de gases. Otro parámetro que se aleja de los requisitos establecidos es los resultados de los ésteres.

La siguiente tabla resalta el muestreo de los parámetros de calidad luego de haberse implementado las medidas tecnológicas

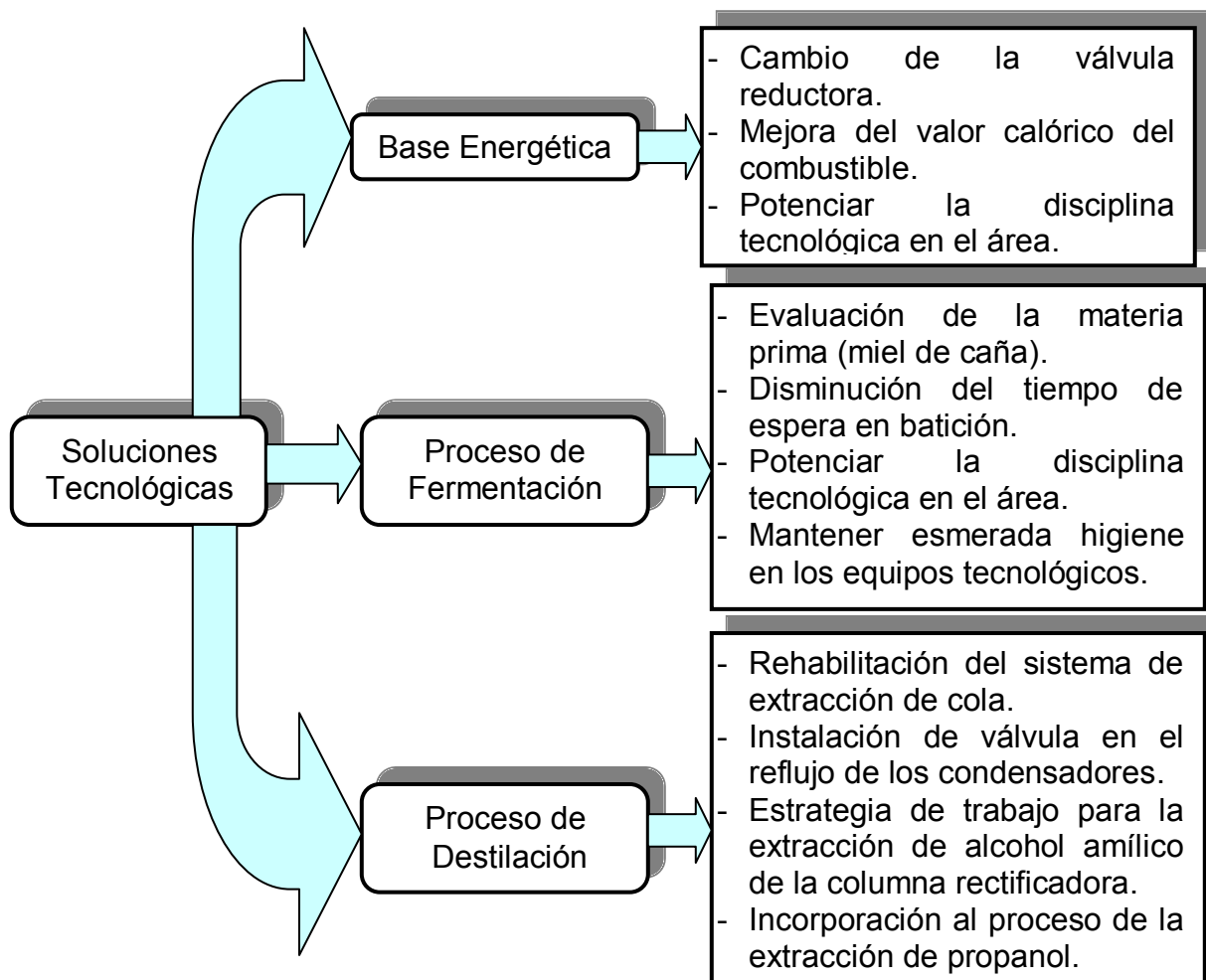
**Tabla 7 Muestreo realizado después de adoptar las medidas tecnológicas**

Muestra	Grado	Tiempo de permanganato	Acidez	Ésteres	Aldehídos	Alcoholes superiores
Fotocolimetría	95.4	14	16.86	-	18.17	69.89
	95.6	18	20.65	-	11.47	68.46
Cromatografía de gases	95.5	12	13	46.8	-	108.4
	95.5	25	11	39.0	-	117.4

Fuente: Hoja de análisis Destilería “Argeo Martínez” Periodo: Enero –Mayo 2013

En la tabla # 7 se muestran los resultados obtenidos aplicando las determinaciones por los dos métodos después de aplicarse las diferentes medidas tecnológicas, donde podemos observar la disminución considerable que se logró en los alcoholes superiores estando en los rangos de especificaciones de calidad, así como disminución considerable de los ésteres, parámetro que estuvo afectado considerablemente anteriormente.

Las soluciones planteadas para obtener los efectos de calidad en la producción de alcohol rectificado son las siguientes:



**Figura 4. Soluciones tecnológicas introducidas en la producción de alcoholes**

### III.6. Valoración económica de los resultados.

La siguiente tabla refleja un análisis económico de los resultados obtenidos en la investigación con e producto final de calidad no conforme.

**Tabla 8 Evaluación económica de los lotes no conformes.**

Lote	Producción Rectificado (HL)	Precio de 1 HL (Pesos)		Importe considerando el precio del surtido (Pesos)		Diferencia Perdida (Pesos)
		Rectific.	Flema	Rectific.	Flema	
20/5/12	237.43	59,05	57.40	14020.24	13628.48	-391.760
21/5/12	230.51	59,05	57.40	13611.62	13231.27	-380.35
13/6/12	125.57	59,05	57.40	7414.91	7207.72	-207.19
19/6/12	84.27	59,05	57.40	4976.14	4837.10	139.04
<b>Importe de las pérdidas totales</b>						<b>-1118.34</b>

Fuente: .Análisis del autor.

Las posibles pérdidas económicas ocurridas en circunstancias de no ser certificados los cuatro lotes como alcohol rectificado por su baja calidad es de \$ 1118.34 por el precio que asume cada lote al tenerse que comercializar como alcohol flema, es decir, un producto de menos calidad con un precio inferior de venta.

## CONCLUSIONES

Desarrollado el presente investigativo y conocido los resultados finales permiten arribar a las siguientes conclusiones:

1. Caracterizar el proceso tecnológico de la producción de alcoholes y en especial de Alcohol Técnico "A" Rectificado, permitió conocer las condiciones tecnológicas existentes en las áreas de fermentación y destilación que inciden en la calidad final de este surtido.
2. Se definieron deficiencias tecnológicas presentes en el proceso e instalaciones que afectaban los resultados de los parámetros de calidad del producto Alcohol Técnico "A" Rectificado, especialmente los alcoholes superiores, cuyo valores se encontraban por encima del rango permitido en la norma de calidad.
3. La evaluación de la materia prima, la disminución del tiempo de espera en batición, la rehabilitación del sistema de cola, la extracción de propanol del proceso, la exigencia de la disciplina tecnológica, entre otros, permitieron certificar un producto final con criterios conformes de calidad según normativas.
4. Se eliminan las pérdidas económicas que ocasionaba la no conformidad de la calidad del producto al poder comercializar el producto con su valor agregado correspondiente.

## **RECOMENDACIONES.**

Para consolidar el trabajo emprendido por la calidad de los alcoholes y en especial del surtido rectificado se recomienda:

1. Continuar mejorando el sistema de extracción de amílico para disminuir los niveles de impurezas en el producto final.
2. Proponer e implementar un Sistema de Calidad para las producciones de alcoholes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alcohol de José L. García Revilla [et al.] Cuba. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar Editorial ICIDCA. 2008. pp 197-200.
2. BIART, José Ramón, SERRANO, Paulina, CONDE, José. Estudio de las mieles finales de la caña de azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana. 1982.
3. Blanco Cariacedo, Gladis. La producción de alcohol a partir de la industria azucarera y sus posibilidades. Editorial Científico Técnica. Ciudad de la Habana. 1982. pp. 8-9.
4. Bullion, Alan. Etanol Trenes. Deputy Editor. 2010.[fecha de consulta: 15 de mayo de 2012]. [www.agrat-net.com](http://www.agrat-net.com).
5. Comité Estatal de Normalización. Norma Cubana 83-31:1987. Alcohol Etílico. Ciudad de la Habana. 1987.
6. Cordovés Herrera, Marianela. ETANOL: Características, Composición, Materias y Usos. Editorial ICIDCA. La Habana. 2008.
7. Coulson and Richardson Chemical Engineering. Distillation. 2011. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2012]. [www.agrat-net.com](http://www.agrat-net.com).
8. Domenech López, Fidel. Aspectos tecnológicos de la fermentación alcohólica. Editorial ICIDCA. La Habana. 2009. 18 p.
9. Evaluación del método de determinación del brix por refractometría en destilerías de Verónica Navarro Hernández [et al.]. Cuba. Memorias Diversificación 2008. Editorial ICIDCA. pp 2-3.
10. Estévez Báez, Roberto. Aspectos básicos del diseño constructivo de columnas de destilación de alcohol. MINAZ. 2007. Cuba.
11. Estévez Báez, Roberto. Tecnología de la destilación alcohólica. Editora ICIDCA. 2007. Cuba. pp 33-35.

12. Estévez Báez, Roberto. Evaluación preliminar del sistema de aguardiente. MINAZ. Ciudad de la Habana. 2009. 2 p.
13. Garrido Carralero, Norge A. Proceso de destilación. ICIDCA. 2010. Pp 12-18.
14. GÓMEZ, Andrés, SEIJO, Ángel y RAMOS, Beatriz. Fábricas de Alcohol. Corrosión y Mantenimiento. Cuba. Memorias Diversificación 2008. Editorial ICIDCA. 4 p.
15. Hoja de análisis diaria del laboratorio destilería Argeo Martínez. Del 2012.
16. ICIDCA. La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. Editorial Científico Técnica. 1986.
17. Instituto de Normas y Metrología. Norma Cubana 21-05-1973, 20-03-1973 y 21-01-1973. Productos químicos analíticos, especificaciones. La Habana. 1973.
18. Jacques, K.A., Lyons, T.P., Kelsall D.R. The Alcohol Textbook. 2003. Nottingham University Press .4th Edition. ISBN 1-897676-13-1.
19. Lineamientos de la Política, Económica y Social del Partido y la Revolución. VI Congreso del PCC. 2011.
20. Manual de operación del proceso de producción de alcohol de la destilería Argeo Martínez. 1998. 4 -7 pp.
21. Martínez Vakilvieso, Julio A. Producción de etanol. ICIDCA 2010, pp 15-18
22. Miele de Miguel A. Otero Rambla, [et al.]. Cuba. Memorias Diversificación 2008. Editorial ICIDCA. 45 p.
23. MINAZ. Manual de Análisis de la Destilería. Edición 2011.
24. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 290:2007. Bebidas alcohólicas. Determinación del grado alcohólico en alcoholes, bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas, cócteles y extractos hidroalcohólicos. Ciudad de la Habana. 2007.
25. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 291:2009. Bebidas alcohólicas. Determinación de acidez total en bebidas alcohólicas destiladas,

- vinos, licores, bebidas alcohólica preparadas y cócteles. Ciudad de la Habana. 2009.
26. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 519:2007. Bebidas alcohólicas. Determinación de aldehídos totales-métodos químicos. Ciudad de la Habana. 2007.
  27. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 520:2007. Bebidas alcohólicas. Determinación de esteres totales-método colorimétrico. Ciudad de la Habana. 2007.
  28. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 535:2007. Bebidas alcohólicas. Determinación de alcoholes superiores-método espectrofotométrico. Ciudad de la Habana. 2007.
  29. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 706:2010. Determinación del tiempo de permanganato. Ciudad de la Habana. 2010.
  30. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana 792:2010. Alcohol Etílico. Requisitos. Ciudad de la Habana. 2010.
  31. Olivério, José Luiz. Technological evolution of the Brazilian sugar and alcohol: Dedini's contribution. 2007. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2012] [www.dedini.com](http://www.dedini.com).
  32. Stone, John & Nixon, Michael. The Distillation of Alcohol. Saguenay International. 2011. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2012] [www.dedini.com](http://www.dedini.com). ISBN 0-473-06608-4.
  33. Utria Borges, Enio. Libro para los Trabajos de Diploma. Facultad Agroforestal de Montaña. Guantánamo Enero 2010.
  34. Vicente Saes, Nacor. Producción de alcoholes refinados. MINAZ. Departamento de Derivados. Ciudad de la Habana. 2007. 1 p.
  35. Wikipedia, la enciclopedia libre. Fermentación alcohólica. 2012. [26 de mayo de 2012]. <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title>.

## Anexo 1 Especificaciones de calidad de los insumos en el proceso productivo.

### Miel final de caña:

Brix.....	85 °Bx
Azucares reductores totales.....	56 % w/w
Azucares fermentables.....	52 % w/w
PH.....	5.2 – 5.7
Lodos.....	8 % v/v

### Urea:

Nitrógeno.....	46 %
Humedad.....	8 %

### Fosfato de amonio:

Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) .....	49 %
Humedad.....	10 %

### Ácido sulfúrico:

Pureza.....	98 %
Peso específico.....	1.83

### Agua del proceso:

Sólidos totales.....	500 mg/l
Color.....	5 u (Pb-Co)
Turbiedad.....	5 u (ut)
Dureza.....	10 m/l (CaCO <sub>3</sub> )
Calcio.....	75 mg/l
Magnesio.....	30 mg/l
Sulfatos.....	2 mg/l
Cloruros.....	200 mg/l
pH.....	7.8
Coliforme.....	< 3/100 ml MP
E. Coli.....	Ausencia

*Fuente: Manual de operaciones del proceso de producción de alcohol de la Destilería "Argeo Martínez". 1998.*