



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Química-Farmacia*

*Departamento de Ingeniería Química*



## *TRABAJO DE DIPLOMA*

*"Aplicación del Análisis Complejo de Procesos al sistema tecnológico de producción de la Ronera Central".*

*Autor: Pedro Luis Cruz Noguera.*

*Tutores: Dra. Marlén Morales Zamora.*

*MSc. Mayra Guzmán Villavicencio.*

*Ing. César Martí Marcelo.*

2015-2016

*Al claustro de excelencia de la facultad de Química-Farmacía,  
orgullo de Cuba y del mundo.*

*A todos los que hicieron posible el desarrollo de esta tesis, en  
especial al personal de la Ronera Central.*

*A mi tutora y amiga Marlén Morales, siempre estarás en mí.*

*A todos mis compañeros y amigos, que ya son mis hermanos.*

*A mi hermana y mis incondicionales padres, para ustedes toda mi  
dedicación y mi vida.*

## *Resumen*

El trabajo tiene como fin, realizar un Análisis Complejo de Procesos en la Ronera Central, evaluando el proceso tecnológico de producción de rones debido a que no existe un adecuado desarrollo de la gestión de la innovación, para introducir el uso de tecnologías más eficientes y compatibles con el medio ambiente. Se realizó un diagnóstico en las distintas áreas de la fábrica para determinar los puntos débiles y definir las posibles brechas tecnológicas. Por su importancia fueron evaluadas varias etapas en el área de fabricación, haciendo énfasis en aspectos técnicos y medioambientales. Como principales debilidades resaltaron: la tecnología de filtración de aguardiente y alcohol diluidos por sistema batch; índices de pH de los residuales de la regeneración de las resinas de intercambio, fuera de los límites establecidos; y los residuales de la elaboración de sirope alcoholizado y en general los totales de la planta, incumplen con las normas de vertimiento. A partir de estos aspectos negativos, las alternativas tecnológicas propuestas fueron: la instalación de un sistema de filtración por cama fija, montaje de un tanque para la neutralización de los residuales de la desmineralización, y la construcción de un humedal subsuperficial como tratamiento secundario a los residuales de la fábrica. El análisis económico de las propuestas tecnológicas es positivo, contando con la capacidad de asimilación de estas por parte de la entidad, siempre con la necesidad de mantener elevadas producciones, calidad y mercado de los productos terminados.

## *Abstract*

The work has as objective to realize a complex analysis of processes in the Central Plant of Rum, assessing the technological process of rums production because there is no adequate development of innovation management, to introduce the use of more efficient and compatible technologies with the environment. A diagnosis was made in different areas of the factory to identify weaknesses and identify possible technological breakthroughs. Because of its importance were evaluated several stages in the manufacturing area, with emphasis on technical and environmental aspects. As highlighted major weaknesses: filtration technology brandy alcohol and diluted by batch system; pH levels of residual regeneration of ion exchange resins, outside the established limits; and the residuals of the alcoholic syrup and overall totals plant, fail to comply with standards dumping. From these negatives, the proposed technological alternatives were: installing a filtration system fixed bed, mounting a tank for neutralization of residual demineralization, and the construction of a subsurface wetland as secondary treatment to factory waste. The economic analysis of the technological proposals is positive, with the assimilative capacity of these by the entity provided with the need to maintain high production, quality and market finished products.

## *Índice*

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción.....                                                                                  | 1  |
| Capítulo 1: Revisión bibliográfica.....                                                            | 3  |
| 1.1 Antecedentes del ron cubano.....                                                               | 3  |
| 1.2 Ronera Central, casa del Ron Cubay.....                                                        | 5  |
| 1.2.1 Descripción de la entidad.....                                                               | 6  |
| 1.3 Mercado de los rones en Cuba.....                                                              | 7  |
| 1.3.1 Mercado mundial del ron.....                                                                 | 9  |
| 1.4 Tipos de rones y sus características.....                                                      | 10 |
| 1.5 Proceso de elaboración del ron.....                                                            | 11 |
| 1.5.1 Materias primas fundamentales.....                                                           | 14 |
| 1.6 Tratamiento con carbón activado. Generalidades.....                                            | 17 |
| 1.6.1 Empleo del carbón activado en la industria ronera.....                                       | 17 |
| 1.6.2 Carbón activado. Formas de aplicación.....                                                   | 18 |
| 1.7 Control de la calidad en la Industria de Procesos.....                                         | 19 |
| 1.7.1 Herramientas básicas para el control de la calidad.....                                      | 20 |
| 1.7.2 Organización de la calidad en la Industria de Procesos.....                                  | 21 |
| 1.8 Análisis Complejo de Procesos. Consideraciones generales.....                                  | 22 |
| Capítulo 2: Diagnóstico y análisis del proceso.....                                                | 24 |
| 2.1 Metodología para el análisis complejo del proceso de producción de rones.....                  | 24 |
| 2.2 Descripción general del proceso.....                                                           | 25 |
| 2.3 Diagnóstico tecnológico integral en la Ronera.....                                             | 28 |
| 2.3.1 Diagnóstico por etapas.....                                                                  | 29 |
| 2.3.2 Capacidad tecnológica, competitiva y financiera.....                                         | 32 |
| 2.4 Diagnóstico en las etapas del proceso de fabricación.....                                      | 33 |
| 2.4.1 Dilución - filtración de aguardiente añejado.....                                            | 33 |
| 2.4.2 Dilución - filtración de alcohol.....                                                        | 35 |
| 2.4.3 Elaboración de sirope alcoholizado.....                                                      | 36 |
| 2.4.4 Desmineralización del ron.....                                                               | 38 |
| 2.4.5 Caracterización de rones terminados.....                                                     | 39 |
| 2.4.6 Caracterización de los residuales totales de la fábrica.....                                 | 40 |
| Capítulo 3: Evaluación económica y ambiental de las propuestas tecnológicas.....                   | 43 |
| 3.1 Propuestas tecnológicas en las etapas de fabricación.....                                      | 43 |
| 3.1.1 Filtración de aguardiente por cama fija.....                                                 | 43 |
| 3.1.2 Neutralización del residual líquido en la desmineralización.....                             | 46 |
| 3.1.3 Humedal subsuperficial horizontal como tratamiento secundario al residual de la fábrica..... | 47 |
| 3.2 Análisis económico de las propuestas tecnológicas.....                                         | 50 |
| 3.2.1 Análisis económico de la producción.....                                                     | 52 |
| Conclusiones.....                                                                                  | 54 |
| Recomendaciones.....                                                                               | 55 |
| Bibliografía.....                                                                                  | 56 |
| Anexos.....                                                                                        | 59 |

## *Introducción*

Un trago de ron cubano en cualquier lugar del mundo es inconfundible. Ese sello que lo distingue de todos los demás gracias a la magia de los maestros roneros cubanos que como tradición pasa de generación en generación, es una leyenda acrecentada por el prestigio ganado a lo largo de los años en muchos países donde se comercializa el ron.

La historia y evolución del ron, heredada desde mediados del siglo XIX, ha sido conservada, enriquecida y transmitida hasta la actualidad, siendo la casa del Ron Cubay (Ronera Central) portadora de la más rica y exquisita elaboración de rones de la región central del país.

Con más de un siglo de presencia en el escenario económico cubano, la producción y exportación de ron ha constituido una actividad económica de importancia relevante. Sin embargo, las instalaciones del principal productor de rones con calidad exportable en nuestro país, que han sido en su mayoría heredadas del capitalismo, han sufrido un fuerte y gradual deterioro en su equipamiento e instalaciones industriales debido a la falta de mantenimiento oportuno y la imposibilidad de la compra de piezas de repuestos en el mercado, limitado a su vez por la obsolescencia tecnológica que sufre la industria. Dicho deterioro debe ser resuelto a través de un proceso de innovación que permita restablecer la vitalidad de la industria ronera cubana.

El proceso de fabricación de rones exige diferentes etapas inviolables del proceso productivo, las cuales están estrechamente vinculadas con las características organolépticas del producto final y el siempre importante cuidado del medio ambiente. Ejemplo de estas son las etapas de tratamiento con carbón activado del alcohol y aguardiente diluido, lo cual permite eliminar compuestos indeseables presentes en estos que afectan la calidad sensorial del ron.

Por otra parte, está presente la desmineralización del ron, la cual se realiza con resinas de intercambio con el fin de eliminar la sedimentación de los iones metálicos en el producto, los cuales son adsorbidos por la resina en el transcurso del tratamiento.

La Ronera Central produce elevados volúmenes de rones con la premisa de satisfacer los requisitos de sus clientes, asegurando la calidad e inocuidad de las producciones, así como el desempeño ambiental y la seguridad de los trabajadores,

salvaguardando la tradición ronera cubana como una de las expresiones de la cultura nacional. En el proceso de elaboración de rones se detectan posibles brechas tecnológicas en las etapas de fabricación, por lo que se hace necesaria una evaluación técnica y ambiental para la mejora continua de los sistemas de gestión de la innovación, además de un diagnóstico general de las distintas áreas como parte del análisis integral del proceso.

Por lo anterior expuesto y dada la importancia que tiene para nuestro país en las condiciones actuales mantener el prestigio de la calidad de los rones a nivel global, se plantea como **problema científico** de la investigación que:

No existe un adecuado desarrollo de la gestión de la innovación en la Ronera Central que permita fortalecer el patrimonio tecnológico de la empresa con la producción de tecnologías más eficientes y compatibles con el medio ambiente.

#### **Hipótesis:**

Es posible a partir del análisis complejo del proceso de producción de rones, lograr el perfeccionamiento de la gestión de la innovación, permitiendo así fortalecer el patrimonio tecnológico de la empresa, su eficiencia y compatibilidad medioambiental.

#### **Objetivo general:**

Realizar un análisis complejo del proceso de producción de rones de manera que permita fortalecer el patrimonio tecnológico de la empresa mejorando la eficiencia, calidad y compatibilidad ambiental.

#### **Objetivos específicos:**

1. Elaborar una metodología para el análisis complejo del proceso de producción de rones que permita trazar la ruta hacia la gestión de la innovación con el fortalecimiento de su patrimonio tecnológico.
2. Realizar un diagnóstico general de la planta a fin de detectar fortalezas y puntos débiles.
3. Proponer alternativas tecnológicas en el proceso de fabricación de rones a partir de los resultados del diagnóstico general.
4. Evaluar económica y ambientalmente el impacto de las alternativas tecnológicas propuestas.

## *Capítulo 1: Revisión bibliográfica.*

### **1.1 Antecedentes del ron cubano.**

El ron es una especie de aguardiente obtenido por fermentación alcohólica y destilación del jugo de la caña de azúcar, o de melazas y subproductos de la fabricación del azúcar de caña. Se menciona por primera vez en documentos provenientes de Barbados en 1650. Se le llamaba "kill-devil" ('mata-diablo') o "rumbullion" (una palabra de Devonshire, Inglaterra, que significa 'un gran tumulto'). Ya en 1667 se le llamaba simplemente "rum", de donde proviene la palabra española ron y la francesa rhum.

El ron fue un factor económico de importancia en los siglos XVII y XVIII. Era exportado a Europa desde las Antillas y fue usado en el tráfico de esclavos africanos y en el negocio de pieles con indios de América del Norte. El ron también se exportaba a las colonias inglesas en América, pero la demanda era tan alta que se establecieron destilerías en Nueva York y en Nueva Inglaterra en el siglo XVII. A partir de ahí, las importaciones fueron básicamente de melazas. En 1763 había 150 destilerías en Nueva Inglaterra, que se abastecían principalmente de las Antillas Francesas. Alrededor del 80% del producto era consumido en las colonias norteamericanas, y solamente el resto era enviado a África para ser intercambiado por esclavos, marfil u oro.

El ron que hoy en día conocemos fue creado por D. Facundo Bacardí y Masó hace más de 150 años. Este tipo de rones secos y ligeros, producidos principalmente en las Antillas Españolas (Cuba, República Dominicana y Puerto Rico) y en las Islas Vírgenes, emplea levaduras cultivadas para la fermentación y se emplea, para la destilación, alambiques modernos y de operación continua. (Ramírez, 2016)

La historia del ron cubano es tan antigua como la colonización misma. Durante los inicios de la colonización de la Isla, las raíces de la caña procedente de Islas Canarias prendieron en la virgen y fértil tierra cubana, donde encontró un microclima con condiciones ideales para crecer, fundamentalmente en los alrededores de las aldeas aborígenes y hatos mercedados.

Se cuenta que con el exterminio de sus primeros habitantes hacia el siglo XVI, y con la llegada de los esclavos negros arrancados de sus tierras, continuó la historia. Se dice que los esclavos acostumbraban a beber lo que llamaron "guarapo", obtenido de la fermentación de la yuca y el maíz. Luego, pasaron a extraerle el jugo a la caña de

azúcar, que una vez fermentada, daba origen a un licor fuerte. El líquido se obtenía a través de rudimentarios aparatos, pero más tarde se utilizó el trapiche en ingenios y centrales; el guarapo se transformó en alcoholes, los cuales dieron origen al entonces denominado aguardiente.

Surgen entonces en Cuba diversas destilerías y marcas. Se construyeron destilerías en Cárdenas, Santiago de Cuba, Cienfuegos y La Habana. Varias marcas se impusieron en el mundo, entre ellas, las llamadas Matusalén, Jiquí, Bocoy, Campeón, Obispo, San Carlos, Albuérne, Castillo, Havana Club y Bacardí. Esta última se estableció como la mejor y mayor exportadora durante casi todo el siglo XIX y parte del XX.

Una de las principales leyes del Gobierno revolucionario que triunfó en 1959 fue la nacionalización de las grandes empresas privadas. Los dueños de la Bacardí emigraron y, aunque se llevaron la marca, no lograron llevarse ni obtener en el exterior, el buen sabor del ron cubano, “que quedó en nuestro suelo, los cañaverales, el viento, el sol, las mieles finales, el alcohol, los barriles y la herencia del proceso tecnológico”, al decir de un reconocido escritor cubano.

Desde entonces se reorganizó y amplió la industria ronera cubana, surgió de nuevo la antigua marca “Havana Club” - fundada en Cárdenas en 1878 - dedicada a la exportación, la cual lleva como emblema a La Giralilla, una estatuilla que simboliza la ciudad de La Habana.

A partir de 1993, esta marca se presenta bajo la firma franco-cubana Havana Club International S.A. - la empresa francesa Pernod-Ricard se encarga de su distribución mundial - y produce los Añejos Blanco, Tres Años Especial, Reserva siete años y Quince años, además de las más jóvenes Cuban Barrel Proof y el Extra Añejo Máximo, todos de gran aceptación nacional e internacional. Durante un buen tiempo Havana Club estuvo sola en el mercado mundial. En la actualidad, otras marcas cubanas no menos importantes han logrado potenciarse en el mundo, entre las que se encuentran: Mulata, Caney, Arecha, Santiago de Cuba, Legendario, Varadero, Santero y Cubay. (Arboláez, 2012)

Desde entonces el ron tiene carta de ciudadanía caribeña y pasaporte universal, merced a su versatilidad para lograr feliz unión con otras bebidas, zumos y licores, convirtiéndose así en una bebida competente y de gran calidad, apetecida por su transparencia y agradable olor.

A Cuba también la llaman la Isla del Ron, y es que el sabor del ron cubano se distingue en el mundo como uno de los mejores gracias a los fértiles suelos, las lluvias, el sol y las características climáticas de esta tierra prodigiosa.

### **1.2 Ronera Central, casa del Ron Cubay.**

Al igual que el nacimiento del primer ron ligero en Cuba, surge la tradición ronera en la región central del país a mediados del siglo XIX. Esta tuvo sus inicios en zonas altamente productoras de caña de azúcar, lo que estaba relacionado con el desarrollo de la industria azucarera y con ello la industria alcoholera, destacándose en el centro las regiones de Sagua La Grande al norte de la actual provincia Villa Clara, y Cienfuegos. Fue en estos dos lugares donde se crearon aguardientes, alcoholes y rones que distinguieron a la región central del país, tanto nacionalmente como en el extranjero, llegando a conquistar los más diversos gustos y usos del consumidor. Estos productos surgieron en dos grandes instalaciones, el Alambique “El Infierno” (1870) ubicado en la Villa del Undoso (Sagua La Grande) y Destilería San Lino (1866, Cienfuegos).

Años más tarde, en 1943, surge en el municipio de Santo Domingo una destilería. En esta se elaboraban aguardientes de 75 % de alcohol en volumen (°GL), los cuales se almacenaban en una pequeña bodega aledaña a la destilería, en bocoyes de madera de 100 L. En 1945 se comenzó a producir además alcohol absoluto a 99.8 °GL para ser usado mezclado con gasolina de avión, lo que coincidía con los meses finales de la segunda guerra mundial, etapa en la que hubo escasez de carburantes en Cuba. Estas producciones se mantuvieron hasta finales de 1959. La destilería, como una instalación más del central, pasó a manos del Estado cubano y el 15 de febrero del año 1963 comenzó a arribar a ella proveniente de la destilería “El Infierno” y en aras de buscar mayor capacidad de producción, las columnas de destilación y una pequeña cantidad de barricas que fueron ubicadas en la nave donde se añejaba el aguardiente.

Paralelamente con estas innovaciones, la tradición ronera adquirida durante años en la destilería “San Lino” fue trasladada a una instalación ubicada en la ciudad de Cienfuegos, “Bodegas Jagua”, la cual enriqueció y perfeccionó la producción ronera durante años hasta que a finales del año 1971, dicha instalación, sufre un trágico y lamentable incendio, donde se perdió parte de la misma, excepto las centenarias

bodegas de añejamiento, las cuales fueron trasladadas íntegramente a una nueva casa, la *Ronera Central*.

A principios del año 1972, comenzaron a arribar a la Ronera Central todas las barricas existentes en las “Bodegas Jagua” a las cuales se le unieron las barricas provenientes del alambique “El Infierno” que se encontraban almacenadas en la pequeña bodega aledaña a la destilería. Esa historia y tradición, heredada desde mediados del siglo XIX, ha sido conservada, enriquecida y transmitida hasta la actualidad, siendo la casa del Ron Cubay portadora de la más rica y genuina tradición ronera de la región central del país. (Guzmán, 2010)

### **1.2.1 Descripción de la entidad.**

La Ronera Centra “Agustín Rodríguez Mena” de la Corporación Cuba Ron S.A, se encuentra ubicada en la calle No 2, CAI Washington, en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara.

Esta entidad fue fundada en el año 1972 perteneciendo a la Empresa de Bebidas y Licores Villa Clara, Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL). Más tarde, cuando en el año 1993 se crea la Corporación Cuba Ron S.A por acuerdo del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, las instalaciones de la Ronera Central fueron segregadas de dicha empresa y se entregaron en usufructos por 25 años, prorrogables por 25 más, a la Corporación Cuba Ron S.A.

El objeto social de la entidad consiste en producir y comercializar de forma mayorista rones y otras bebidas alcohólicas de distintos tipos y calidades, aguardientes, alcoholes y sus derivados, en moneda nacional y en divisas, además prestar servicios de comedor a sus trabajadores en moneda nacional.

Su misión es producir, añejar y comercializar rones y otras bebidas alcohólicas con altos estándares de calidad para satisfacer las más exquisitas exigencias de sus clientes, proporcionándoles un sello que los identifique en el mercado nacional e internacional con la tradición del mejor ron cubano, combinando un experimentado colectivo de trabajadores y cuadros eficaces con un respeto adecuado a la tecnología y al medio ambiente.

Su visión es contar con una cartera de productos para la exportación y el mercado interno en divisas, competitivo y diversificado según los requisitos del cliente. Alto nivel de profesionalidad, conocimiento y motivación de cuadros y trabajadores en general que les permita mejorar continuamente sus resultados. Tener certificado en

las entidades un sistema integral de gestión que garantice: la comparación con estándares internacionales, la inocuidad de las producciones, la seguridad y salud de los trabajadores, el ejercicio de una gestión ambiental responsable, la introducción oportuna de los logros de la ciencia y la técnica y la automatización de procesos, teniendo como premisa una elevada cultura industrial como productores de los mejores rones cubanos.

Todas las marcas se encuentran debidamente registradas y han sido protegidas en el comercio virtual como Nombres de Dominio en .com, .net, .biz, .cu.

En materia de Know How, cada producto tiene una formulación diferente y los procedimientos están considerados como Secreto Comercial; se encuentran firmados acuerdos de confidencialidad en los procesos que corresponde.

La propiedad intelectual se controla desde la Dirección Jurídica de la Presidencia de la Corporación.

**Principales producciones:** Rones Cubay Carta Blanca y Carta Blanca Extra Viejo; Ron Cubay Carta Dorada; Rones Cubay Añejo, Añejo Suave y Añejo Superior 10 Años, Ron Cubay Reserva Especial 10 Años, Ron Cubay Blanco Ligero y Ron Silver Dry.

Galardonada con innumerables premios a sus producciones e instalaciones, esta fábrica ha lanzado un desafío al mundo de los espirituosos: Cubay Carta Blanca Extra Viejo, el primero de su tipo con 14 años de reposo y 40° de graduación alcohólica, que conserva la coloración de los rones de su categoría. (Martí, 2016)

### **1.3 Mercado de los rones en Cuba.**

Entre toda variedad y cantidad de marcas especializadas en la elaboración de ron, las grandes enseñas cubanas ocupan un lugar privilegiado debido a la calidad y excelencia de sus productos, valorados en todo el planeta. Cinco de las mejores marcas de Cuba son Havana Club, Arecha, Legendario, Edmundo Dantes y Caney. (Salgado, 2015 )

La cartera de productos que comercializa la Distribuidora Cuba Ron (DCR) en el mercado nacional abarca varias categorías dentro de los espirituosos:

- Rones: Cubay, Santiago de Cuba, Isla del Tesoro
- Licores: Cubay
- “Otros Espirituosos”: SaoCan, Guayabita del Pinar y Elixir Cubay 33
- Vinos: Soroa

- Productos Importados: Bodegas Miguel Torres

### **Consumo de bebidas alcohólicas en Cuba**

Según estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2014, el 45,2% de la población cubana mayor de 15 años consume bebidas alcohólicas, con un promedio anual per cápita de 5,2 litros puros de alcohol (lpa).



Figura 1.1 Consumo de bebidas por categorías en Cuba.

### **Principales aspectos que han propiciado el crecimiento de las ventas:**

- Crecimiento del turismo.
- Ampliación del Sector No Estatal.
- Cambio de imagen.
- Ampliación de la Cartera de Productos.
- Optimización de la organización del trabajo.
- Acciones promocionales.
- Capacitación de los prescriptores.

### **Sector No Estatal:**

Se destaca en este ámbito, el programa de transferencia a esta forma de gestión de 12 988 pequeños negocios estatales en la esfera de la gastronomía y los servicios menores, de los cuales ya se ha reconvertido el 27%, en un esquema que contempla un proceso que puede durar hasta el 2016 e incluso más allá.

### **Optimización del Trabajo:**

- Cambios en la Estructura de la Distribuidora Cuba Ron

- Creación de los Encuentros Nacionales
- Actualización de los procedimientos de trabajo
- Intercambio con el Movimiento de Maestros Roneros

#### **Acciones Promocionales:**

- En el 2014 se comienza a reforzar las actividades de Comunicación y Marketing, con el objetivo de organizar las acciones publicitarias de cara a los clientes y consumidores finales.
- Acciones Promocionales en fechas significativas.
- Proyecto CUBARONEANDO
- Patrocinios a importantes Eventos en el país.
- Apertura de la Casa del Cubay y la Licorera Don Pancho en las ciudades Santa Clara y Santiago de Cuba respectivamente.

#### **Capacitación de los prescriptores con participación en:**

- Principales Competencias de Asociación de Cantineros de Cuba
- Balcón del Habano (Asociación de Sommeliers de Cuba y ACC)
- Intercambio con los Comerciales y Dependientes de las Cadenas de Tiendas; A+B y Maitres de las Cadenas Hoteleras y Extra Hoteleras.

#### **Proyecciones DCR:**

Apoyado en los factores propicios que presenta el mercado cubano para la comercialización de los rones, generadas por el crecimiento estimado del arribo de turistas, el continuo desarrollo del Sector No Estatal y el refuerzo de las Actividades Promocionales; la DCR proyecta:

Crecimiento en el 2015 de un 23% en las ventas totales, de ellos:

- 10% en las ventas de los Rones Cubay.
- 24% en las ventas de los Rones Santiago de Cuba.

(Miranda, 2016)

#### **1.3.1 Mercado mundial del ron.**

Actualmente la mayor parte de la producción del ron a nivel mundial está concentrada en el mar Caribe, siendo: Cuba, República Dominicana, Puerto Rico, Venezuela, Jamaica o Martinica algunas de las zonas calientes, o donde mayor concentración hay de destilerías que lo producen. (Bustamante, 2014)

Durante los últimos años la tendencia hacia el consumo de ginebra ha aumentado de manera considerable, pero ello no evita que todavía se consuman otro tipo de

bebidas como el ron. Según se desprende de informes elaborados por agencias como Euromonitor, el volumen de las ventas de ron en el mundo viene experimentando desde el año 2009 un crecimiento que ronda el 17%. El esfuerzo que ejercen las destilerías y grandes firmas para crear y lanzar al mercado rones de gama alta y ediciones Premium lujosas que albergan ron cada vez más añejo conforma una de las claves de su éxito en países como Francia, lugar de Europa en los que mejor se comercializa el ron especialmente elaborado para los paladares más exigentes.

#### **1.4 Tipos de rones y sus características.**

El ron es una bebida alcohólica, un destilado de la caña de azúcar por fermentación, destilación y que posteriormente puede o no estar sometido a procesos de añejamiento, generalmente en barricas de roble.

Dividir el ron por tipos o edades es complicado, debido al hecho de que se produce en muchos países y cada uno tiene su propia legislación. No existe un acuerdo para la vejez mínima o para una clasificación estándar.

Argentina los divide en Blanco, Ligero y Extra Ligero, Barbados White, Overproof, y Matured. Otros países no quieren poner restricciones a sus productores y encontramos varios términos como: Añejo, Solera, Solera Reserva, Viejo, Extraviejo, XO, Old, o de edades de 3, 5, 7, 10, 15, 20, que a menudo no son más que un término de mercadotecnia y que, por lo tanto, son de dudosa credibilidad para usarlos como elemento diferenciador. A pesar de estas diferencias se acepta a nivel regional tres grandes tipos de ron:

- **Rones de origen hispano:** Son producidos a partir de melaza y criados o añejados en sistemas de criaderas y soleras, con un estilo de rones ligeros, de secos a dulzones, a los cuales se añade caramelo y azúcar. Su categoría y vejez se refleja en un número en la etiqueta que en algunos países representa el más viejo de la mezcla, en otros la edad de la solera, en otros es simplemente un número. Este número no debería interpretarse como la edad del ron. Se encuentran en el Caribe y Centroamérica, en general Puerto Rico, Cuba, República Dominicana, México, Nicaragua, Guatemala, Colombia, Panamá, Venezuela y España (principalmente Canarias y Granada).
- **Rones de origen británico:** Su producción es a partir de melaza y son criados en diversos sistemas desde soleras y criaderas a crianzas estáticas en barrica los de

mayor calidad. Su estilo es de Ronos oscuros y potentes, dulzones y especiados. Se añade caramelo (color), azúcar y especias. Es de costumbre reflejar su categoría y vejez poniendo una descripción independiente en la etiqueta (Spiced rum, extra old, etc.) que tiene un significado diferente para cada productor. Los típicos rones de este origen son elaborados en las zonas de Barbados, Bermuda, Belice y Guyana.

- **Rones de origen francés agrícolas:** La producción de estos es a partir de caña de azúcar y su crianza es estática en barrica (mismo sistema que el Whisky de Malta Escocés), con estilo de rones ligeros que destacan por su paleta aromática que proviene de la caña de azúcar, secos y potentes. Son categorizados por Rhum Ambré (crianza en madera), Rhum Vieux (crianza en madera superior a 3 años), y años de vejez; debido a que en estos rones los años representan la edad mínima del ron y que están bajo control, no acostumbran a sobrepasar los 10 años. Su origen proviene de Guadalupe, Haití y Martinica, y debido a su producción y sobre todo a su crianza estática, acostumbran a ser más caros que los rones de melaza. (Viamonte, 2016)

Cuba produce rones sobrios y equilibrados, con cuerpo y añejamiento en roble. Entre los mejores están los producidos por las marcas Havana Club, Arecha, Santiago de Cuba, Cubay, Legendario o Caney. (Sánchez, 2016)

Teniendo en cuenta el color, grado de añejamiento, dulzor y otras características menos definibles, los rones cubanos se pueden dividir en diferentes clases:

- Añejos: De color ámbar oscuro que recuerda a los aguardientes muy añejados, muy aromáticos (en cuanto a las características del tipo cubano) y de sabor dulzón.
- Carta Blanca: Los mismos no son precisamente blancos sino ligeramente coloreados de amarillo-ámbar, menos dulce que los añejos y poco aromáticos.
- Carta Oro: De color ámbar claro recordando al oro viejo, aromáticos y ligeramente dulzones.
- Refinos: Casi incoloros, de sabor seco y picante y olor algo penetrante.
- Rones Palma: De color ámbar claro, ligeramente dulzones y aromáticos.
- Rones viejos o extra secos: De color amarillo-ámbar, muy aromáticos.
- Rones vinados: De color ámbar oscuro, de aroma que recuerda a los vinos de uva y francamente dulzones. (Martí, 2010)

### **1.5 Proceso de elaboración del ron.**

El ron es una bebida alcohólica destilada a partir de la caña de azúcar, la melaza o directamente del jugo de la caña de azúcar mediante un proceso de fermentación y destilación. A diferencia de algunos otros licores como el coñac y el whisky, el ron no tiene métodos de producción definidos, sino que su producción varía dependiendo de las tradiciones y lugares en los que se produce.

En muchos países el ron se debe de añejar por lo menos un año y puede hacerse en barricas de roble o en tanques de acero inoxidable. Es el proceso de envejecimiento el que determina el color del ron. El ron que se añeja en barricas de roble se oscurece, mientras que ron es añejado en tanques de acero inoxidable se mantiene prácticamente incoloro. Luego del envejecimiento, el ron es mezclado para asegurar un sabor consistente. Luego se filtra y en algunos casos se añade caramelo para ajustar el color del producto final.

*Filtración:* Sea blanco o dorado, el ron se filtra antes de embotellarse. Esto elimina las partículas indeseables resultantes del proceso de envejecimiento al tiempo que mejora la pureza de su color. Para los rones que se van a vender como blancos, el filtrado por carbón activado elimina los tintes aportados por la madera de las barricas. Algunas industrias aplican tipos especiales de filtración, con objetivos específicos. Barbancourt, de Haití, realiza una filtración final en frío para los rones que serían exportados a países no tropicales para evitar que el cambio de clima produzca algunos depósitos.

*Mezclado y embotellado:* La mayoría de los rones comerciales consisten en una mezcla de rones de diferentes tipos y edades e, incluso, de rones de diferentes países de origen, como es el caso de las marcas internacionales de grandes volúmenes. Si se desea, durante la mezcla se puede añadir caramelo, especies y sabores (aunque estos últimos pueden añadirse antes o durante la destilación). En esta etapa es cuando interviene la experiencia del maestro mezclador. Su envidiable trabajo es asegurar que el contenido de cada botella sea consistente tanto en cuanto a sabor como a calidad; después de todo, los consumidores esperan y demandan que sus marcas favoritas sepan exactamente igual cada vez que se compre. Desde luego, las especificaciones de cada marca son secretos bien guardados. Una vez se han seleccionado los diversos constituyentes y mezclados, se dejan fusionar por un tiempo antes de reducir hasta la fortaleza de embotellamiento por adición de agua pura, cuya calidad es crítica. (Gutierrez, 2011)

El proceso de fabricación de ron incluye una serie de etapas determinantes en la obtención del producto final para ser logrado con una calidad exigente.

Las operaciones de recepción principales materias primas del proceso productivo, tales como, alcohol, aguardiente y rones añejados, así como los tratamientos a las mismas: fabricación, tratamientos con carbón, mezcla, añejamiento, filtración, almacenamiento y despacho constituyen las etapas fundamentales del proceso.(Hernández, 2006)

El alcohol clase “A” es recepcionado en los tanques de almacenamiento para este producto en el área de fabricación de rones, donde también se recibe el aguardiente procedente de las naves de añejamiento en los tanques destinados para este fin. Ambos productos indistintamente son sometidos a tratamientos intermedios con el objetivo de asegurar las características organolépticas del producto a fabricar. (Hernández, 2006)

Posteriormente se procede a la mezcla de estos productos intermedios según formulaciones establecidas; estos en cantidades apropiadas de aguardientes añejados con alcohol para constituir lo que llamamos ron solera fresco, el que pasará a añejamiento posteriormente y será la primera operación responsable de las características de los rones y el denominado “secreto del ron”, pues acorde a la relación aguardiente-alcohol y de la edad del aguardiente o de la mezcla de ellos será las características de los rones logrados y se puede deducir que las combinaciones a emplear pueden ser infinitas. También en esta etapa se pueden añadir extractos, siropes y algún tipificador como vinos o extractos de semillas o frutos que aportan características que sin descaracterizar al ron, le proporcionan un cierto carácter diferente. (Queris, 2007)

El proceso de añejamiento se realiza en barriles de roble donde en su interacción con la madera van combinando su bouquet y adquiriendo una serie de características y edades que se requieren para ser llevados al proceso de fabricación de los diferentes surtidos.

De manera general, en la fabricación de ron se recomiendan las siguientes etapas:

- ✓ Recepción de materias primas.
- ✓ Desmineralización del agua.
- ✓ Elaboración de Sirope alcoholizado.
- ✓ Añejamiento en barriles de roble del aguardiente fresco.
- ✓ Mezcla y Dilución de Alcohol Fino A con agua desmineralizada.

- ✓ Mezcla y Dilución de aguardiente añejado con agua desmineralizada.
- ✓ Filtración de la Dilución del aguardiente añejado.
- ✓ Filtración de la Dilución de alcohol A.
- ✓ Elaboración del Ron base.
- ✓ Añejamiento del Ron base en barriles de roble.
- ✓ Elaboración del Ron terminado.
- ✓ Desmineralización del Ron terminado.
- ✓ Filtración del Ron terminado.

#### **Embotellado.**

- ✓ Despaletizado de botellas
- ✓ Enjuagado.
- ✓ Llenado.
- ✓ Tapado de la botella.
- ✓ Control de llenado y tapado.
- ✓ Etiquetado y Codificación.
- ✓ Revisión.
- ✓ Conformado de cajas.
- ✓ Embalado en cajas.
- ✓ Colocación de divisiones y revisión del embalado.
- ✓ Conteo de cajas.
- ✓ Sellado de la caja y marcación de la misma.

(Martí, 2009)

#### **1.5.1 Materias primas fundamentales.**

- Alcohol

Podemos considerar como más representativos para obtener alcohol de primera calidad, los sistemas de destilación-rectificación de cinco columnas (con más de 90% de rendimiento de alcohol de primera) y de tres columnas (con aproximadamente 70 - 80 % de rendimiento). (Pérez, 2001)

El alcohol etílico, principal producto obtenido en el proceso de rectificación en las destilerías, constituye la base de sustentación de una serie de compuestos aromáticos del mismo género que el etanol y que su origen durante la producción de alcoholes que son utilizados para la elaboración del ron. (Morales, 2006)

Los alcoholes superiores son producidos por las levaduras durante la fermentación alcohólica como productos secundarios de rutas metabólicas mediante

descarboxilación y desaminación de aminoácidos.(Reazin, 1969) La cantidad y naturaleza de los nutrientes de las levaduras (sulfato de amonio, fosfato de amonio y urea) comúnmente utilizados en la fermentación alcohólica afectan la formación de alcoholes.(Parfait, 1975)

Los ésteres forman el grupo más interesante y numéricamente mayor de compuestos aromáticos de las bebidas destiladas y aunque algunos pueden provenir de las materias primas, este origen no se considera el más importante.(Suomalainen, 1980) Su cantidad y proporciones entre los diferentes tipos, son de gran importancia para el aroma de una bebida.

Especificaciones de Calidad del Alcohol (NC-XX, 2009)

Grado alcohólico (°GL) \_\_\_\_\_ 96.0 (mín.)

Acidez Total (*mg/L A.A*) \_\_\_\_\_ 15 (máx.)

Tiempo de Permanganato (mín) \_\_\_\_\_ 35 (min.)

Acetaldehído (*mg/L A.A*) \_\_\_\_\_ 3 (máx.)

Acetato de etilo (*mg/L A.A*) \_\_\_\_\_ 30 (máx.)

Alcoholes superiores (*mg/L A.A*) \_\_\_\_\_ 15 (máx.)

- Aguardiente

El aguardiente, materia prima fundamental en la producción de ron, es previamente destilado con un balance de compuestos alifáticos y aromáticos provenientes de la fermentación de las mieles finales y destilación en mezclas y sometido a un proceso de envejecimiento en las naves de añejamiento con el fin de incorporarle al producto compuestos aromáticos de la madera.

*Características del aguardiente:*

Color: ámbar oscuro.

Olor: fuerte etílico con aroma de roble.

Grado alcohólico: 72 – 74 °GL.

El aguardiente será añejado hasta el tiempo en que este adquiera las características organolépticas de acuerdo a las edades que se requieren para ser incorporados al proceso de fabricación. Este proceso provoca en el producto un aumento de la acidez, el color y los taninos. En general, durante la etapa de añejamiento se producen cambios en la composición química del producto envejecido. (Morales, 2006)

La madera utilizada para confeccionar barriles no puede ser verde, recién obtenida, pues en el momento de su recepción su contenido de agua oscila entre 40 y 60 % y

los compuestos extraíbles que contiene son, en general, difícilmente compatibles con el objeto de mejorar la calidad de los aguardientes. (Nivas, 1993)

Los dos tipos más usados son los llamados Roble francés y Roble americano que, al pertenecer a dos especies distintas, presentan diferencias importantes en su composición.(Bujan, 1997) El Roble americano es más abundante en metil octalactona (conocida como lactona de whisky) cuyo aroma recuerda al coco. Los vinos y aguardientes en contacto con el Roble americano presentan menor contenido en taninos, mientras que el roble francés contiene menores cantidades de aldehídos aromáticos (que tienen aromas cercanos a la vainilla).

Tras estudios sobre las incidencias del quemado está demostrado que el tratamiento térmico al que está sometida la madera a la hora de construir el barril, influirá notablemente en el contenido de aldehídos aromáticos del aguardiente a envejecer. (Chatonnet, 1993)

Los cambios de concentración del etanol tienden a decrecer durante el añejamiento, debido a una mayor pérdida relativa de etanol con relación al agua al ser Cuba un país con alta humedad relativa. Los alcoholes superiores tienen un mayor peso molecular con relación al etanol y al agua, lo que los hace menos permeables.(Onishi, 1977)

Los componentes mayoritarios como el n-propanol, el isobutanol y el alcohol isoamílico se concentran a través del tiempo al igual que el acetaldehído y el acetato de etilo, estos últimos dos en menor medida. El quemado aporta una mayor cantidad de peróxidos, favoreciéndose por consiguiente la oxidación en los barriles quemados; por lo tanto, los niveles de acetaldehídos y ácido acético se incrementan, incidiendo en una mayor formación de acetato de etilo. (Reazin, 1976)

- Agua desmineralizada

El agua desmineralizada de por sí constituye el componente mayoritario en la producción de ron, por lo que su control y vigilancia durante su tratamiento es un factor vital en la calidad del mismo (Morales, 2006)

*Características del agua desmineralizada:*

Color: incolora

Olor: inodora

pH: de 6.8 a 7.2 (neutro)

Conductividad: de 0 a 2  $\mu$ s (Micro siemens)

## **1.6 Tratamiento con carbón activado. Generalidades.**

El carbón activo es un adsorbente poroso compuesto principalmente de carbono que posee una gran capacidad adsorptiva de sustancias gaseosas, en estado vapor o en solución. Esta capacidad es el resultado de un alto desarrollo de la superficie específica del carbón y de la alta porosidad que posee, alcanzada como consecuencia de un tratamiento térmico especial denominado activación.

Actualmente se conoce que la estructura porosa es la propiedad más importante del carbón activo. Además se sabe que la eliminación de impurezas de los líquidos es mediante adsorción, por lo que es este término empleado para describir la existencia de una mayor concentración de una sustancia en la interfase entre un fluido y un sólido que la que está presente en el interior del sólido. (Queris, 2007)

En el inicio del proceso de transferencia de masa en una columna de carbón, el líquido llena los espacios vacíos entre los granos, después van a llenarse los macro y microporos de modo que la mezcla entra en contacto con la superficie exterior e interior del carbón y comienza el proceso de limpieza. Es necesario resaltar que no toda la superficie es accesible a distintas sustancias y las diferentes partes del carbón no son iguales por su actividad. (Kodin, 1969)

### **1.6.1 Empleo del carbón activado en la industria ronera.**

En la industria de licores su empleo es amplio. Así, se observa que el Whisky recién destilado tiene sabor desagradable, el que es disminuido mediante el tratamiento con carbón activo y el resultado es un whisky joven que muestra una mejoría mucho mayor durante el añejamiento.

En la producción de bebidas espirituosas se emplea el carbón activo con el objetivo de eliminar los olores de levadura y otros, formados por los compuestos indeseables que aunque presentes en muy bajas concentraciones producen olor y sabor desagradables, por lo que son necesarias varias operaciones de destilación o la percolación muy lenta a través del carbón para eliminarlos. El caso de las bebidas espirituosas que ha merecido más estudios en relación con el empleo del carbón activo es la producción de vodka.

En el proceso de tratamiento de soluciones hidroalcohólicas con carbón activo ocurren reacciones de oxidación de innumerables compuestos, de esterificación, saponificación de ésteres complejos, etc.

Bajo la influencia del carbón activo suceden cambios del contenido y estructura de los ésteres complejos, pero en cantidades tan pequeñas (para el caso del alcohol y vodka) que estos no se pueden detectar por los métodos de análisis que se emplean corrientemente; así como, bajo la influencia de carbón activo, se observa algún cambio en el contenido de aldehídos. (Oshmian, 1961)

El componente clave en la depuración y rectificación del alcohol es un éster, el propianato de etilo, el que empeora decididamente la calidad del alcohol. Si se toman como variables del proceso la cantidad de carbón activo, el tiempo de contacto y el porcentaje de separación de impurezas, se llega a obtener la calidad deseada del alcohol en sus tres parámetros fundamentales: tiempo de permanganato de 28 min, contenido de aldehídos  $3\text{ mg/L}$  y contenido de esteres  $20\text{ mg/L}$ . (Griastnov, 1974)

Sobre los aldehídos y el efecto del carbón activo se sabe que el carbón tiene un efecto directo sobre los mismos y esto depende del tiempo de contacto, el estado de activación y su granulometría, por lo que se conoce que el aumento del tiempo de contacto del alcohol con el carbón activo viejo lleva al aumento de los aldehídos.

En los procesos normales (carbón nuevo) en el primer tiempo de contacto se produce un gran incremento de ellos, lo que disminuye durante los primeros 15 - 20 min producto de la adsorción del carbón. Al pasar 20 min, comienza el paso siguiente de descomposición del destilado con la formación de acetaldehído y otros compuestos.

Sustancias fenólicas como fenol, guayacol, eugenol, isoeugenol, o-cresol y otros, han sido identificados en bebidas añejadas y su presencia en algunos casos proviene de la materia prima y su procesamiento o del añejamiento mismo. Durante el añejamiento hay un incremento de los ésteres, fundamentalmente los etílicos, los que son compuestos de olores y sabores característicos y es el acetato de etilo el predominante, aunque existen variados tipos dada la diversidad de ácidos y alcoholes presentes en el destilado.

#### **1.6.2 Carbón activado. Formas de aplicación.**

Existen diversos métodos de aplicación del carbón activo en sus distintas formas para el tratamiento de alcoholes, siendo las tres variantes básicas de lecho fijo o dinámico, de lecho fluidizado y estáticos.

El método estático (a batch) consiste en mezclar el carbón con el líquido a purificar en un tanque con agitación, y posteriormente se separa el carbón por filtración u otro método factible. Se emplean por lo general carbones en polvo, lo que es su ventaja

fundamental la rapidez del proceso y el aumento de superficie de contacto por empleo de carbón pulverizado. Se utiliza en procesos de decoloración aunque es necesario recordar que en el caso de bebidas, una decoloración va acompañada en mayor o menor grado (dependiendo del tipo de carbón) de efectos sobre el olor y sabor de ellas.

El método dinámico o de lecho fijo es el más difundido y consiste en que el líquido a tratar se pasa por columnas llenas de carbón activado granulado. (Queris, 2007)

Es de general conocimiento que hay compuestos en el alcohol que desde el punto de vista químico-físico y organoléptico convienen o no para el ron (indeseables).

En el sistema de producción de alcohol son arrastradas pequeñas cantidades de congéneres, que en dependencia de la estabilidad, experiencia y tecnología, pueden impactar de manera negativa en la calidad sensorial; se pueden encontrar más de 300 componentes, fundamentalmente el aceite fusel, ésteres, aldehídos y ácidos.

Concluida la etapa de envejecimiento en barriles de roble blanco el aguardiente fresco sufre cambios físico-químicos y organolépticos apreciados claramente en el color, olor y sabor; al igual que en el alcohol, en el aguardiente existe un balance aromático, aunque este es mucho más potenciado desde el punto de vista de componentes alifáticos.

El carbón activo adsorbe mejor las impurezas de un aguardiente parcialmente diluido que de uno a 75 % alcohólico, es decir, el destufado es más intenso en un aguardiente a 53 % que en este mismo a 75 %, ya que el carbón y el solvente (alcohol) compiten por las impurezas y al disminuir la concentración alcohólica el carbón adsorbe estas más fácilmente.

El objetivo del tratamiento con carbón en el aguardiente diluido no es lograr un producto neutro, o sea, llegar a una reducción a nivel de trazas de los congéneres del etanol comúnmente llamado por los maestros roneros "producto limpio", es necesario lograr mantener un stock de alifáticos y aromáticos provenientes de la destilación y el añejamiento; es considerado que para el ron cubano el aroma y sabor del ron tienen su soporte en el aguardiente.

### **1.7 Control de la calidad en la Industria de Procesos.**

La calidad se ha convertido en un factor imprescindible para la continuidad de las empresas a medio y largo plazo, así como una de las inversiones más rentables, ya que mediante la misma, las empresas:

- Generan productos y servicios mejorados.
- Disminuyen los costos de producción o de los servicios, así como el servicio postventa, pudiendo incrementar sus precios y mejorar sus ingresos.
- Pueden facilitar la adopción de nuevos sistemas de producción.
- Aumentan la rentabilidad financiera.
- Ocupan mayor cuota de mercado y son más competitivas.
- La calidad puede convertirse en un factor de motivación e integración de los trabajadores.
- Mejora la imagen comercial de los productos y servicios, y por tanto de la empresa.
- Aumenta la satisfacción y fidelidad de los clientes. (Jeya, 2001)

Se entiende como control de la calidad el proceso mediante el cual se puede medir la calidad real, compararla con las normas o especificaciones previstas, y actuar sobre las diferencias producidas. Este proceso ha evolucionado a lo largo del tiempo y se considera que ha pasado por las siguientes etapas:

1era etapa: Calidad mediante inspección.

2da etapa: Control del proceso.

3ra etapa: Control integral (aseguramiento) de la calidad.

4ta etapa: Calidad total. La calidad como estrategia de competitividad.

### **1.7.1 Herramientas básicas para el control de la calidad.**

Las técnicas básicas para la identificación de la calidad, responden a diversos métodos o herramientas que permiten llevar un control y mejoran si es posible la calidad y, sobre todo, para la detección de fallos y errores y actuar sobre ellos.

En la actualidad se conocen siete herramientas básicas o siete útiles básicos para el análisis y la observación de los indicadores de calidad, que permiten descubrir las causas que originan problemas de la falta de calidad; las mismas son: (Colaboradores, 2004)

- 1) Lista de verificación u hoja de datos.
- 2) Histogramas.
- 3) Gráficos de Gestión.
- 4) Gráficas de Control.
- 5) Diagrama de Pareto.
- 6) Diagrama Causa-Efecto.

7) Diagrama de Dispersión o Distribución.

### **1.7.2 Organización de la calidad en la Industria de Procesos.**

La organización para la calidad en la industria de procesos químicos está encargada de llevar a cabo el control de la calidad en tres amplias esferas:

*El Laboratorio de Investigación y Desarrollo*, cuya responsabilidad está dada por:

- 1) Diseñar el producto.
- 2) Definir la tecnología para elevar el producto.
- 3) Identificar las reacciones que causan la reducción en la producción o los substandard de calidad.
- 4) Suministrar los datos suficientes para designar los equipos y máquinas.
- 5) Planificar desde consideraciones teórica, cuándo, dónde y cómo debe ser realizado el control del proceso.

En él se utilizan métodos especiales de diseño experimental y de análisis estadístico.

*El Laboratorio Analítico o de Control.*

Esta unidad es de gran importancia ya que los criterios del laboratorio son la base para la aceptación de la materia prima, decisiones en el proceso y la salida del producto para la venta. Mediante sus resultados se valoran las variables del proceso que causan afectaciones en el comportamiento de los equipos y los procesos operacionales, o sea, donde se valora la uniformidad y el mejoramiento de la calidad del producto. Las medidas y criterios tomados por el laboratorio, dado las pruebas analíticas, es de uso efectivo para valorar los parámetros del proceso, así como para la exactitud y precisión del mismo.

*La Planta Fabril.*

Es la encargada de decidir si enviar, recombinar, reelaborar ó ahorrar en el proceso de elaboración del producto dentro de las especificaciones establecidas en las normas de proceso del producto en cuestión. El control de la calidad del producto requiere de toda serie de muestras y pruebas de materia prima, análisis de muestras durante el proceso y análisis del producto terminado. La mayoría de la materia prima empleada para los procesos químicos es adquirida sobre la base de análisis químicos, con especificaciones dadas. Los métodos de muestreo y pruebas dependen de la naturaleza del material (cantidad de sólidos, cantidad de líquidos, etc). Una vez en los parámetros de calidad hayan sido establecidos como aceptables

y uniformes, la materia prima puede ser aceptada. El control del proceso se lleva a cabo a través de pruebas realizadas a muestras tomadas durante la operación, ya que un análisis después que el producto es elaborado puede ser tardío. Generalmente se especifican los puntos de inspección, para el control y la acción de tomar las muestras para su análisis. Pueden emplearse equipos de muestreo automáticos conectados a la línea continua, el control de circuito abierto para la acción del operador o el control de computadora en circuito cerrado. (Pequeño, 1985)

El chequeo de producto terminado se realiza por el laboratorio donde se determina su concordancia con las especificaciones establecidas y se acepta o rechaza, los resultados del producto terminado son reportados a la parte fabril.

### **1.8 Análisis Complejo de Procesos. Consideraciones generales.**

El Análisis Complejo de Procesos surge como una metodología que abre nuevos caminos en la intensificación de procesos y en su propio desarrollo y se ha convertido en un problema cardinal de la ciencia contemporánea al cumplir el doble requisito de: Constituir un resultado al desarrollo científico reciente y constituir un requerimiento del necesario perfeccionamiento de la eficiencia técnico-económica de los procesos de la industria química.

Consiste en un amplio análisis científico-técnico y técnico-económico de un proceso existente o concebido, en lo referente a las posibilidades de realización óptimo de los objetivos previstos. El Análisis Complejo de Procesos es un aporte a la intensificación de la utilización de las instalaciones de la industria de procesos químicos elevando su productividad.

La intensificación de la producción mediante el Análisis Complejo de Procesos, requiere la elaboración de objetivos económicos en cada industria de forma concreta, entre lo que se encuentra de acuerdo con la experiencia acumulada:

- Aumento de la calidad y la cantidad de los productos elaborados.
- Disminución de los consumos específicos y absolutos de materiales y energía.
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo.
- Ahorro de fuerza de trabajo.
- Disminución de la contaminación ambiental.

El Análisis Complejo de Procesos sirve para descubrir las partes débiles en el proceso productivo correspondiente y para la creación de medidas para su eliminación parcial o completa. Conduce además a un aumento de la efectividad del

proceso de producción, además de permitir un mejor aprovechamiento de materias primas, la energía y los medios de trabajo, así como un aumento de los grados de eficiencia de la fuerza de trabajo y el mejoramiento de las condiciones materiales. (González, 2004)

## *Capítulo 2: Diagnóstico y análisis del proceso.*

### **2.1 Metodología para el análisis complejo del proceso de producción de rones.**

En aras de potenciar el desarrollo tecnológico, la Corporación Cuba Ron S.A, se mantiene trabajando y desarrollando acciones encaminadas a la introducción de mejoras tecnológicas en sus instalaciones y procesos.

Si bien en la industria ronera, se ha ganado conciencia en cuanto a la importancia de la innovación tecnológica y de su decisiva importancia para el desarrollo, eficiencia y permanencia de sus empresas, resulta todavía insuficiente, en términos generales, los resultados relacionados con la innovación tecnológica que se obtienen y generalizan anualmente, en los que influyen, entre otros factores, la escasa experiencia existente sobre los procesos tecnológicos y de innovación.

Es por ello que se puede afirmar que el sector no cuenta aún con una metodología que le permita diagnosticar y evaluar sus procesos tecnológicos, para analizar los factores que inciden en su desarrollo, así como, efectuar una adecuada vigilancia del entorno tecnológico que posibilite descubrir oportunidades para mejorarlos. Por otra parte, elaborar un plan de desarrollo tecnológico que, estando en correspondencia con los objetivos estratégicos de la organización, le permita buscar vías pertinentes para enriquecer su patrimonio tecnológico y proteger sus productos, conocimientos y tecnologías.

Partiendo de las consideraciones anteriores y con ayuda de las herramientas del Análisis Complejo de Procesos, se propone una metodología para el proceso de producción de rones que permita dirigir el camino hacia la gestión de la innovación con el fortalecimiento de su patrimonio tecnológico. La metodología se describe en la Figura 2.1 según el diagrama heurístico que se muestra a continuación.

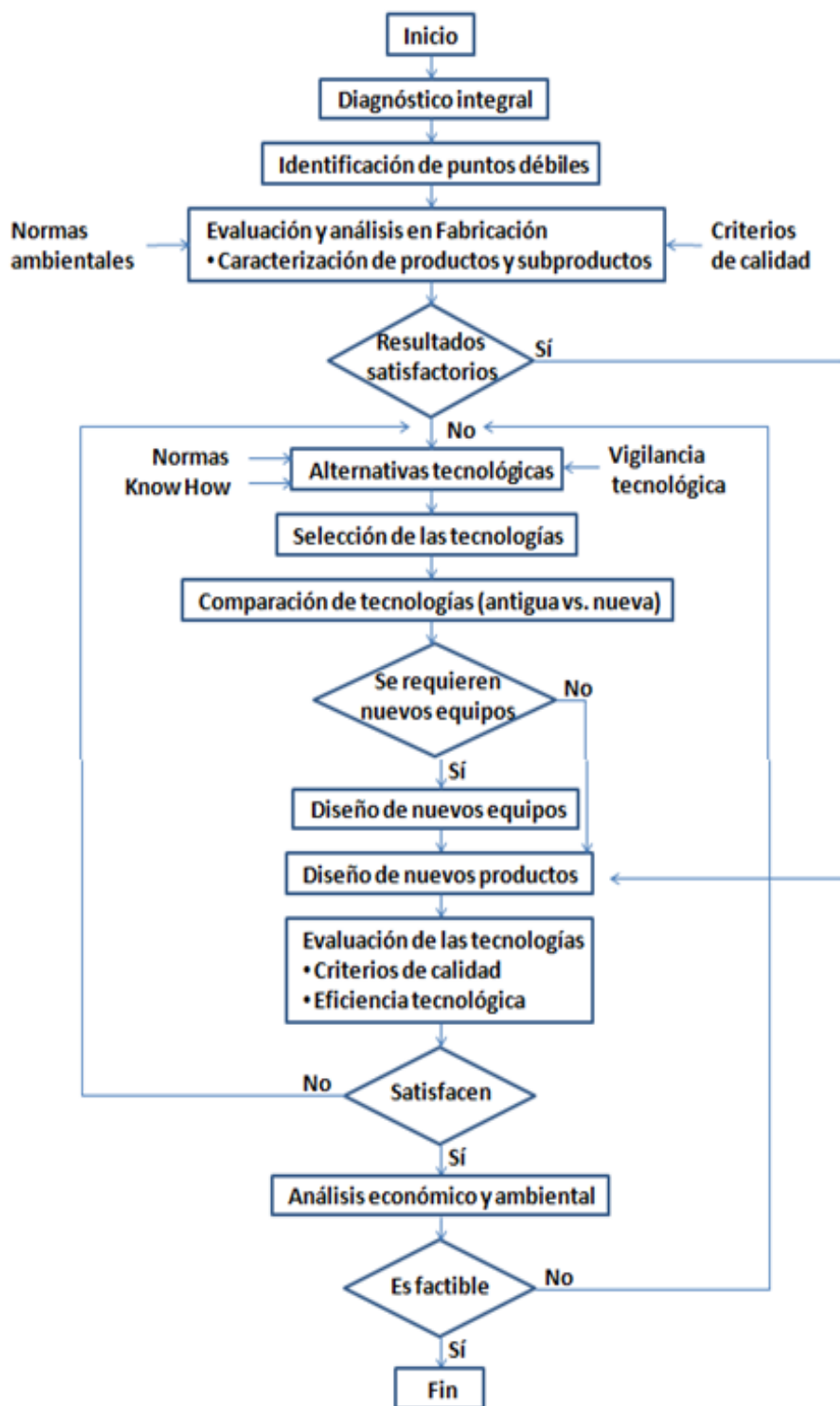


Figura 2.1 Metodología para el Análisis Complejo del proceso de producción de rones.

## 2.2 Descripción general del proceso.

1. Recepción y almacenamiento de aguardiente fresco:

El aguardiente fresco es transportado desde Santa Cruz del Norte (fábrica que pertenece a la Corporación Cuba Ron S.A.) en cisternas de acero inoxidable y es almacenado en tanques de acero inoxidable provistos de indicadores de nivel hasta su posterior utilización. En momentos excepcionales la Ronera Central recibe aguardientes de Ronera San José y de Heriberto Duquesne.

2. Recepción y almacenamiento de alcohol etílico Fino A:

El alcohol etílico Fino A es transportado desde la U.E.B. Destilería por medio de tuberías aéreas de acero inoxidable y es almacenado en tanques de acero inoxidable provistos de indicadores de nivel donde permanece hasta su posterior utilización. En caso de presentarse algún problema en la Destilería, es recibido de otros suministradores en contenedores de acero inoxidable.

3. Recepción y almacenamiento de agua cruda:

El agua cruda se transporta por tuberías directamente de los pozos y se almacena en una cisterna de cemento de 240 m<sup>3</sup> de capacidad. Posteriormente es distribuida por un sistema de bombeo a las diferentes áreas de la fábrica para sus diferentes usos y tratamientos.

4. Añejamiento de aguardiente fresco:

En esta etapa se añeja el aguardiente fresco en barriles de roble blanco con el objetivo de provocar transformaciones físico-químicas que mejoren las características sensoriales del mismo.

5. Elaboración de agua desmineralizada:

En esta operación se eliminan del agua cationes y aniones presentes en la misma mediante un sistema de ósmosis inversa.

6. Dilución-filtración de alcohol etílico Fino A:

El alcohol etílico Fino A es mezclado con agua desmineralizada para rebajar su graduación de 95,5 % Alc Vol a 54 ( $\pm 0,5$  % Alc Vol). La dilución es filtrada a través de una capa de carbón activado para ser destufado, con el objetivo de eliminarle los compuestos químicos que inciden de forma negativa en la calidad sensorial del producto.

7. Elaboración de sirope alcoholizado:

En esta fase se mezclan agua desmineralizada, azúcar refino A y alcohol etílico Fino A, obteniéndose un sirope para ser usado en la elaboración del ron, a  $24 \pm 1$  °Brix.

8. Dilución-filtración de aguardiente añejado:

Después de haber transcurrido tiempos prolongados de contacto entre el aguardiente fresco y el roble de las pipas, el aguardiente añejado es mezclado con agua desmineralizada para rebajar su graduación a 54 ( $\pm 0.5$  % Alc Vol). Posteriormente es tratado con carbón con el objetivo de eliminar compuestos químicos que inciden negativamente en la calidad sensorial del producto.

9. Fabricación de ron base:

Es la mezcla de dilución filtración de alcohol etílico Fino A, dilución filtración de aguardiente añejado, sirope alcoholizado, ron base añejado, color caramelo y agua desmineralizada.

10. Añejamiento del ron base:

El ron base es añejado en barriles de roble blanco de capacidad 180-500 L para lograr las características sensoriales deseadas.

11. Elaboración del ron:

En esta operación se mezclan la dilución-filtración de alcohol etílico Fino A, la dilución-filtración de aguardiente añejado, el sirope alcoholizado, mezclas de rones base de diferentes edades y agua desmineralizada. (Según formulación).

12. Desmineralización del ron:

El ron se desmineraliza para eliminar fundamentalmente los iones metálicos presentes en el mismo. En esta operación se realiza un tratamiento con resinas de intercambio iónico con el objetivo de reducir las posibilidades de sedimentación de los productos, al ser estos iones adsorbidos por la resina en el transcurso del tratamiento.

13. Recepción del ron terminado:

El ron terminado se recepciona en el área donde se almacena el producto terminado para su posterior entrega.

14. Filtración del ron:

En esta operación se eliminan sólidos y partículas suspendidas en el ron a embotellar, por medio de una filtración por placas de papel filtrante. La placa utilizada es la NA-70 de la firma Carlson Filtration, las cuales son fabricadas a base de una mezcla de coadyuvantes de filtración junto con una resina y una seleccionada mezcla de fibras de celulosa, exentas de asbesto.

15. Embotellado:

En esta etapa se procede al llenado del producto en botellas de cristal de diferentes capacidades según corresponda el surtido a embotellar, y finalmente se etiquetan y embalan las botellas para su comercialización.

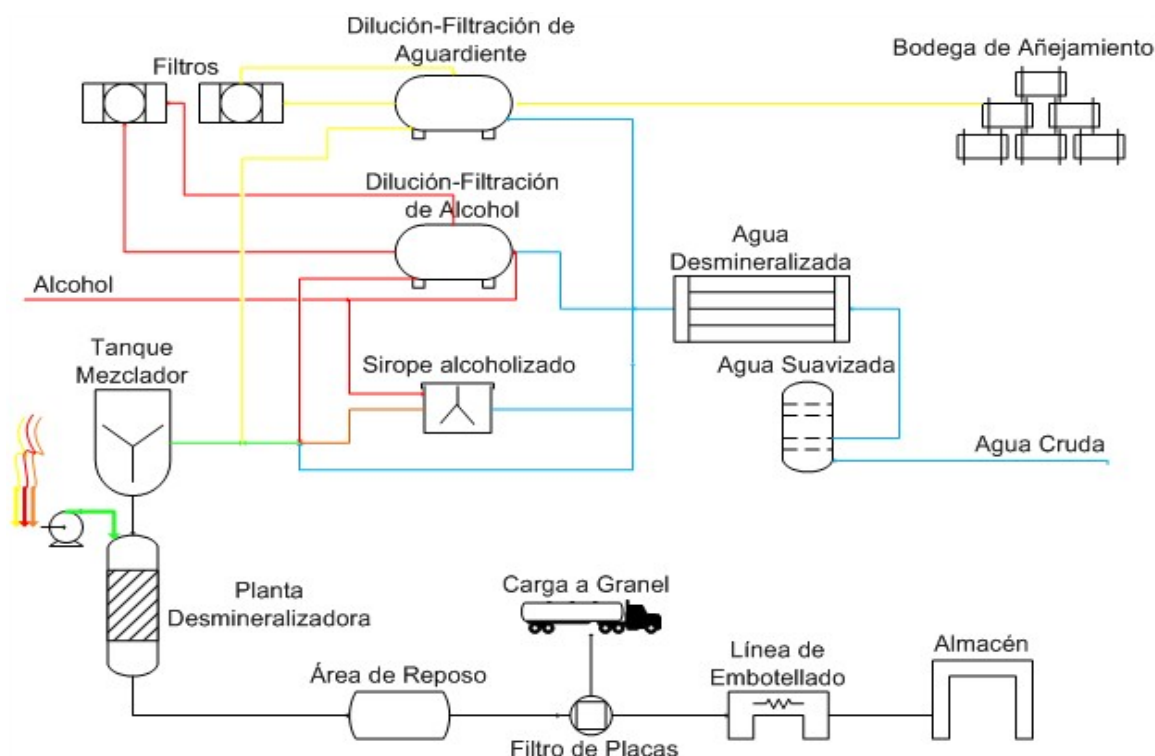


Figura 2.2 Diagrama de flujo del proceso de producción de ron.

### 2.3 Diagnóstico tecnológico integral en la Ronera.

Dentro de los principales productos posicionados en el mercado local, regional y nacional se encuentran el Ron Cubay Carta Blanca, Ron Cubay Añejo, Ron Cubay Añejo Suave, Ron Cubay Carta Dorada, Cubay Blanco Ligero, Elixir de Ron Cubay 33 y Ron Cubay Reserva Especial 10 años. Estos dos últimos pretenden estar en el mercado internacional junto al Ron Cubay Carta Blanca Extraviejo y al Ron Cubay Extra añejo 1870.

En la actualidad estos se han introducido en países como Francia, España, Rusia, Holanda, China, Bulgaria, Chile, República Checa y Rumania aunque aún no se logra un posicionamiento en estos mercados, por lo que se requiere potenciar la realización de estudios de mercados y trazar estrategias de Marketing correspondientes para lograr la inserción de los mismos en el mercado internacional.

### **2.3.1 Diagnóstico por etapas:**

#### *1. Rectificación de alcohol.*

Puntos débiles:

- La tecnología utilizada para la rectificación de alcohol data del año 1942. Es una tecnología obsoleta que ha recibido reparaciones y aunque se mantiene en funcionamiento requiere de inversión tanto para la actualización de la tecnología empleada como para la automatización del proceso.
- No se cuenta con tecnología para la Destilación de aguardiente.

Posibles soluciones:

- Reparación capital de la Destilería.
- Adquisición de nueva tecnología para Destilación de aguardiente.

#### *2. Fabricación de rones.*

Puntos débiles:

- No se cuenta con infraestructura para fabricación del Elixir.
- Reducida capacidad para la elaboración de sirope alcoholizado.
- Mal estado de los tanques en el área de reposo 2, fundamentalmente los tanques número 29, 20, 17, 18 y tanque de alcohol.
- Pisos y enchape de paredes en mal estado.
- La operación de trasiego se realiza mediante el empleo de mangueras atóxicas, lo que influye en la existencia de mermas o pérdidas, provocadas por su manipulación y el mal estado de las mismas.
- No se conoce la caracterización del residual que se genera en la etapa de desmineralización de rones.

Posibles soluciones:

- Diseñar y habilitar infraestructura para fabricación del elixir.
- Aumentar las capacidades de almacenamiento de sirope alcoholizado debido a que este producto para su utilización en el proceso tecnológico lleva un tiempo mínimo de 15 días de reposo y actualmente debido a las altas demandas de productos estas capacidades son insuficientes.
- Adquirir y/o reparar los tanques.
- Reparación de pisos y enchape de paredes.
- Eliminar el uso de mangueras para el trasiego de rones sustituyéndolas por tuberías de acero inoxidable.

- Realizar la caracterización del residual que se genera en el proceso de desmineralización de rones y proponer su posible tratamiento.

### 3. *Embotellado de rones.*

Puntos débiles:

- Déficit de piezas de repuesto para el área de embotellado, por ejemplo la conformadora/empacadora tiene la tarjeta o módulos con roturas parciales que pueden paralizar la máquina.
- La interfaz hombre/máquina del monobloque se encuentra en malas condiciones.
- No se cuenta con báscula para el control por peso de las cajas.
- Necesidad de ampliación de la línea de embotellado (línea de embotellado de canecas y otros productos).

Posibles soluciones:

- Adquirir piezas de repuesto para la línea de embotellado.
- Mejorar la interfaz hombre/máquina del embotellado.
- Adquisición de báscula para el pesaje de cajas.
- Completamiento o ampliación de la línea de embotellado.

### 4. *Añejamiento.*

Puntos débiles:

- Tuberías para trasiego innecesarias.
- Mal estado constructivo de la Nave 4.
- No se recupera el agua del hinchado de barriles.
- Limitada capacidad de añejamiento.
- No se cuenta con tecnología actualizada para el llenado-vaciado de barriles en el área de añejamiento.

Posibles soluciones:

- Reducir recorrido de tuberías para trasiego.
- Reparar la Nave 4.
- Reutilizar el agua del hinchado de barriles.
- Ampliar capacidades de añejamiento (Nuevas naves).
- Adquirir tecnología actualizada para el sistema de llenado-vaciado de barriles en el área de añejamiento.

### 5. *Automatización.*

Puntos débiles:

- No se cuenta con un sistema automatizado para el control de proceso en el Sistema de dilución - filtración de aguardiente y de alcohol.
- No se cuenta con un sistema automatizado para el control del proceso de embotellado de rones.
- No se controla automatizadamente el bombeo y recepción de alcohol.
- Insuficientes medios informáticos (PC e Impresoras).
- No se cuenta con un sistema de detección y extinción de incendios.
- Mal funcionamiento del sistema de tierra física y pararrayos.

Posibles soluciones:

- Automatizar el Sistema de dilución - filtración de Aguardiente y de Alcohol.
- Automatizar el proceso de embotellado de rones.
- Automatizar el control del proceso de bombeo y recepción de alcohol.
- Adquirir medios informáticos.
- Instalar sistemas de detección y extinción de incendios.
- Revisión y mantenimiento del sistema de aterramiento.

#### 6. *Almacenamiento para ventas.*

Puntos débiles:

- Insuficiente capacidad de almacenamiento de materias secas y productos químicos.
- Tanques de almacenamiento en mal estado.
- Válvulas del sistema de trasiego en Destilería en mal estado.
- No se cuenta con área de llenado de cisternas granel.

Posibles soluciones:

- Ampliar capacidades de almacenamiento de materias secas y productos químicos.
- Reparar tanques.
- Adquirir válvulas.
- Elaborar propuesta para habilitar un área para el llenado de cisternas granel.

#### 7. *Transportación:*

Puntos débiles:

- Mal estado técnico de los montacargas.
- Parque automotor deteriorado.

Posibles soluciones:

- Adquirir y/o reparar los montacargas.
- Mejorar condiciones del parque automotor.

#### 8. *Tratamiento de residuales.*

Puntos débiles:

- Resultados de la caracterización de los residuales a la salida de la laguna, fuera de los parámetros establecidos en la normativa vigente.

Posibles soluciones:

- Evaluar posibles tratamientos de residuales líquidos mediante la aplicación de humedales subsuperficiales.

### **2.3.2 Capacidad tecnológica, competitiva y financiera:**

#### 1. *Capacidad de innovación.*

Fortalezas:

- Elevada capacidad de innovación.

Debilidades:

- No se cuenta con el Sistema de gestión de la innovación certificado.

#### 2. *Capacidad productiva.*

Fortalezas:

- Capacidades productivas que permiten crecimientos sostenidos.
- Posibilidad de ampliar el surtido de rones.

Debilidades:

- No se cuenta con la infraestructura para la fabricación del elixir.

#### 3. *Alianza de negocios.*

Fortalezas:

- Asociación de la Corporación con un socio comercial con una vasta experiencia y una red de distribución diseminada por todo el mundo.
- Posibilidad de creación de una empresa mixta.

#### 4. *Ubicación geográfica.*

Fortalezas:

- Ubicación de la Entidad cerca de las dos principales vías de transportación del país (línea del ferrocarril y Carretera Central).

#### 5. *Fuerza del producto, calidad y exclusividad.*

Fortalezas:

- Tradición de disciplina tecnológica, personal técnico y obreros con experiencia y conocimientos en la fabricación de rones.
- Prestigio nacional e internacional de los rones que se fabrican.
- Alta calidad en la producción de caldos, rones y alcohol.
- Diversificación en la cartera de productos.

Debilidades:

- Existencia de otros productores de bebidas espirituosas que han mejorado su presentación y precios bajos.
- Existencia en el mercado de productos sustitutos.

#### 6. *Lealtad y satisfacción del cliente.*

Debilidades:

- Inestabilidad y poca calidad en la imagen de los productos.
- No contar con clientes fieles.

#### 7. *Participación del mercado.*

Fortalezas:

- Contar con un mercado seguro.

Debilidades:

- Bajo nivel de publicidad y promoción de los productos.

#### 8. *Fortaleza de proveedores y disponibilidad de insumos.*

Debilidades:

- Abastecimiento técnico material con un aseguramiento inestable.
- Débil retroalimentación sobre lo concertado en los contratos con proveedores de materias primas de importación.

#### 9. *Rentabilidad y estabilidad de costos.*

Fortalezas:

- Se cuenta con una contabilidad certificada y planes de prevención establecidos, lo que permite a la empresa operar en MN y CUC.

Debilidades:

- Escaso margen comercial.
- Precios elevados de los productos.

## 2.4 Diagnóstico en las etapas del proceso de fabricación.

### 2.4.1 Dilución - filtración de aguardiente añejado.

Esta operación tiene como objetivo rebajar la concentración alcohólica de los aguardientes añejados para su posterior filtración, la cual retirará aquellos compuestos químicos que inciden de forma negativa en la calidad sensorial del producto en proceso mediante tratamiento con carbón activado.

Procedimiento de trabajo para la dilución:

El aguardiente añejado se recibe en los tanques receptores y es bombeado a los tanques de dilución de 13 000 L donde se le añade agua desmineralizada hasta el volumen que requiera y es batido con aire durante 15 minutos para lograr una mezcla homogénea. Las cantidades de agua y aguardiente dependen del grado inicial de este que, por lo general, oscila entre 70 y 72 °GL, el cual debe llevarse a un valor de  $54 \pm 0,5$  °GL al final de la dilución y con características organolépticas específicas.

**Filtración de aguardiente por sistema batch:**

Al aguardiente diluido se le añade carbón activado en polvo en una proporción de 2 gramos por litro de dilución y se bate como mínimo durante 20 minutos para propiciar el íntimo contacto entre el carbón y esta. Luego la mezcla se filtra en un filtro Niágara y es recirculada hasta que el líquido recogido en el tanque no contenga carbón. Un arrastre de carbón detectado visualmente mediante las pruebas periódicas que realiza el operador a la salida del filtro será motivo de una paralización de la operación. (Ver Figura 2.3)

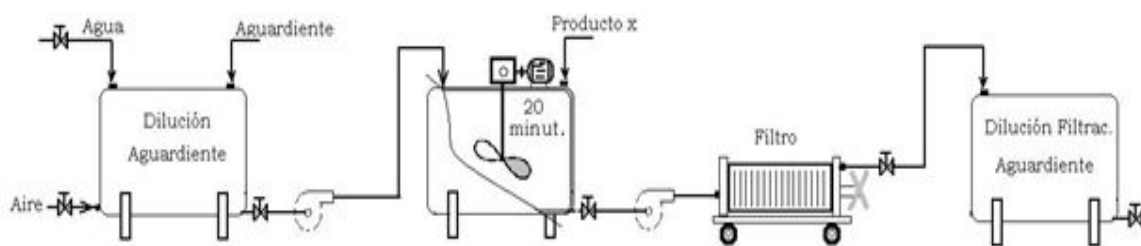


Figura 2.3 Dilución - filtración de aguardiente por sistema batch.

A continuación en la tabla 2.1, se muestran los resultados obtenidos por cromatografía gaseosa de la caracterización del aguardiente diluido a la entrada y la salida de la etapa de filtración. Se puede observar la remoción de los compuestos indeseables, siendo más representativos, el acetaldehído, acetato de etilo, n-propanol, isobutanol e isoamílico.

Tabla 2.1 Remoción de compuestos indeseables ( $mg/L$ ) en el aguardiente diluido.

| <b>Batch</b>              | Acetaldehído | Acetato de etilo | Metanol | n-propanol | Isobutanol | Isoamílico | Suma de alc superiores |
|---------------------------|--------------|------------------|---------|------------|------------|------------|------------------------|
| Aguardiente diluido       | 8,90         | 8,10             | 0,000   | 3,78       | 6,10       | 25,02      | 34,90                  |
| Aguardiente dil. filtrado | 6,95         | 6,20             | 0,000   | 2,90       | 5,70       | 25,00      | 33,60                  |

Este método no garantiza una calidad estable del producto para las producciones ya que tiene asociado un índice de consumo de energía elevado, las pérdidas o mermas por evaporación y trasiego son significativas, y presenta una capacidad limitada de 4 000 L que a su vez constituye un cuello de botella en el proceso, además el trabajo de los operarios se hace muy engorroso y la limpieza de los filtros genera un volumen de residual y un consumo de agua significativos.

#### **2.4.2 Dilución - filtración de alcohol.**

Esta operación tiene como objetivo llevar el alcohol al grado adecuado, para luego establecer el contacto entre este y el carbón activado. Dicho contacto, permitirá eliminar compuestos indeseables presentes, así como olor y sabor desagradables causantes de desviaciones de calidad en el ron, garantizando con ello la excelencia del producto obtenido. El principio de esta operación es el mismo que el aplicado en la dilución-filtración de aguardiente añejado por el sistema batch.

##### Procedimiento de trabajo:

Este alcohol una vez recepcionado en el área de fabricación, es diluido hasta  $54 \pm 0,5$  °GL con agua desmineralizada en los tanques destinados para este fin; a este grado alcohólico hay componentes no deseados como el aceite fusel, que se insolubilizan y pueden ser extraídos por el carbón.

El alcohol diluido genera una cantidad de calor producto de la reacción exotérmica que se produce, aumentando la temperatura del líquido, por lo que se hace necesario un reposo de 24 horas antes de ser filtrado. Este debe ser inviolable, debido a que la alta temperatura generada en la reacción puede provocar en el tratamiento a través de los filtros de cama fija (columnas de carbón) una desorción del carbón al líquido, aportándole a este último, compuestos indeseables que perjudican la calidad del producto.

A continuación en la tabla 2.2 se muestran los resultados de los análisis cromatográficos del alcohol por el sistema de filtración a batch. Se puede observar la presencia y remoción de compuestos indeseables como son, el acetaldehído, acetato de etilo y el n-propanol.

Tabla 2.2 Remoción de compuestos indeseables ( $mg/L$ ) en el alcohol diluido.

| <b>Batch</b>          | Acetaldehído | Acetato de etilo | Metanol | n-propanol | Isobutanol | Isoamílico | Suma de alc superiores |
|-----------------------|--------------|------------------|---------|------------|------------|------------|------------------------|
| Alcohol diluido       | 0,092        | 0,053            | 0,000   | 0,82       | 0,000      | 0,000      | 0,82                   |
| Alcohol dil. filtrado | 0,022        | 0,025            | 0,000   | 0,43       | 0,000      | 0,000      | 0,43                   |

### 2.4.3 Elaboración de sirope alcoholizado.

Esta operación tiene como objetivo la elaboración del sirope para su posterior utilización en la fabricación del ron. Cuenta con un tanque mezclador de 2 500 L y con un tanque de reposo de 2 800 L, siendo las materias primas el alcohol Fino A (95 °GL), agua desmineralizada y azúcar superfino A.

#### Procedimiento de trabajo:

En el tanque habilitado para la producción de sirope se deposita la cantidad de agua desmineralizada necesaria de acuerdo a la cantidad de sirope a elaborar, sobre la que se añade lentamente el azúcar con el agitador mecánico ya puesto en marcha. Una vez añadido todo el azúcar se prolonga la agitación durante unos 30 minutos hasta su total disolución.

A continuación, se procede a añadir la cantidad de alcohol necesario según la cantidad de sirope deseado, manteniéndose la agitación. Una vez preparado el sirope alcoholizado, se mantiene en reposo durante 2 ó 3 días donde sedimentarán los compuestos insolubles en alcohol. Luego se bombea aproximadamente el 95 % del volumen hacia un tanque habilitado para el reposo, donde estará durante unos 15 días como mínimo para eliminar los polisacáridos, que de pasar al ron, pudieran sedimentar. El resto del volumen (5 %) aproximadamente, queda en el fondo como residual sedimentable, el cual se extrae y se adiciona en un tanque de recepción del residual. Como no se conocen las características del mismo, se tomaron muestras para su caracterización analítica a nivel de laboratorio para evaluar su posible acción contaminante.

Las caracterizaciones de todos los residuales analizados en el trabajo fueron realizados en el Centro de Estudios de Química Aplicada (CEQA) perteneciente a la Facultad de Química-Farmacia de la Universidad Central de Las Villas, institución certificada por el CITMA. Los resultados para el sirope alcoholizado se muestran a continuación en la tabla 2.3. Los límites máximos permisibles promedio (LMPP) están reflejados en la (NC-27, 2012)

Tabla 2.3 Caracterización del residual del sirope alcoholizado.

| Indicadores      | LMPP  | U/M              | Valor   |
|------------------|-------|------------------|---------|
| pH               | 6 a 9 | U                | 4,8     |
| CE               | 2000  | $\mu\text{S/cm}$ | 24,5    |
| ST               | -     | -                | 8309,25 |
| Ssed             | 3     | ml/L             | 380     |
| DQO              | 160   | mg/L             | 872 480 |
| BBO <sub>5</sub> | 60    | mg/L             | 261 744 |

➤ Balance de masa en la etapa de elaboración de sirope alcoholizado:

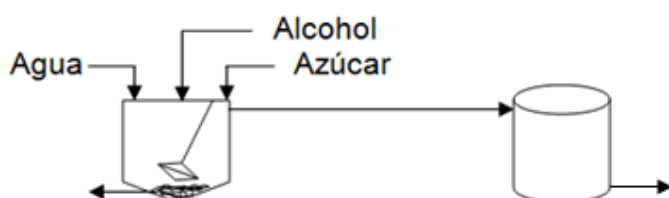


Figura 2.4 Elaboración de sirope alcoholizado.

A: Agua (L)

B: Alcohol (L)

C: Azúcar (Kg)

S: Sirope alcoholizado (2 400 L)

Balance total (B<sub>T</sub>):  $A + B + C = S$

Balance parcial de B:  $B \cdot 0,95 = S \cdot 0,53$        $B = 1339 \text{ L.}$

Balance parcial de C:  $C = (S \cdot \rho_S) \cdot 0,24$        $C = 592 \text{ kg}$

$A = S - (B + C/\rho_C)$        $A = 689 \text{ L}$

$\rho_S = 1,028 \text{ kg/L}$

$\rho_C = 1,59 \text{ kg/L}$

➤ Especificaciones de salida del producto:

- Grado alcohólico real: 52 - 54 °GL

- Brix: 23-25 °Bx

Este residual no cumple con los límites de vertimiento establecidos en la NC-27:2012, reflejándose principalmente en los valores de DQO, DBO<sub>5</sub> y sólidos sedimentables, los cuales son notablemente elevados con respecto a la capacidad de asimilación de la laguna de oxidación existente en la fábrica. Por ello, y teniendo

en cuenta su valor nutritivo, se recomienda emplearlo para alimento animal; quedando la propuesta de un sistema de tratamiento específico para dicho residual.

#### **2.4.4 Desmineralización del ron.**

La operación del tratamiento con resinas de intercambio iónico tiene como objetivo eliminar los iones metálicos sedimentables Ca y Mg disueltos en la mezcla de ron, los cuales son adsorbidos por la resina en el transcurso del tratamiento.

En este proceso se cuenta con dos columnas en el área de fabricación, una para realizar las operaciones de desmineralización en rones blancos para lo cual se emplea ciclo ácido, y otra para la desmineralización de los rones oscuros empleando ciclo sodio.

Por experiencias a lo largo de los años en la operación de desmineralización, cuando la columna procesa unos 400 000 L de ron, los resultados del análisis de dureza se aproximan a 1 ppm, lo que indica la necesidad de regenerar la resina.

##### Funcionamiento de la instalación:

- a) Período de carga: Consiste en pasar el ron a través de la columna donde se producirá el intercambio iónico. Para efectuar esta operación se abren las válvulas de entrada y salida de ron, así como la apertura de la válvula de entrada del tanque receptor. Cuando la resina se agote, se procederá a las etapas posteriores que le devolverán a la resina sus propiedades.
- b) Retrolavado: En esta etapa se descompacta la resina con el objetivo de evitar la formación de canales preferenciales de flujo en la misma, que le restan eficiencia a su funcionamiento. Para ello se cierran las válvulas de entrada y salida de ron y se abren las de agua, de la cual fluyen alrededor de 2 000 L a contracorriente durante unos 30 minutos hasta que salga limpia.
- c) Paso de la solución regenerante: Consiste en devolverle a la resina la propiedad de intercambiar iones mediante la adición de 240 L de una solución de ácido clorhídrico (HCl) rebajada con agua al 30 % o de cloruro de sodio (NaCl) a una concentración de 24 °Be, la cual se deja en contacto con la resina por un período de 45 minutos.
- d) Lavado de la resina: Se pasan 2 000 L de agua por la resina de intercambio en el mismo sentido del flujo de operación durante un período de 20 minutos, para empujar la solución regenerante hasta que no queden restos de salmuera.

El residual líquido generado por las columnas desmineralizadoras de ciclos ácido y básico fue caracterizado a nivel de laboratorio para evaluar su acción contaminante. Se tomaron tres muestras para cada ciclo en el momento del descargue de las soluciones regenerantes, para cada caso. A continuación en las tablas 2.4 y 2.5 se muestran los resultados obtenidos. Los límites máximos permisibles promedio (LMPP) están expuestos en la (NC-27, 2012)

Tabla 2.4 Caracterización del residual en ciclo ácido.

| Indicadores      | LMPP  | U/M              | Valor           |
|------------------|-------|------------------|-----------------|
| pH               | 6 a 9 | U                | $2,35 \pm 0,26$ |
| CE               | 2000  | $\mu\text{S/cm}$ | $1742 \pm 47$   |
| DQO              | 160   | mg/L             | $53 \pm 1.4$    |
| DBO <sub>5</sub> | 60    | mg/L             | $21 \pm 1.05$   |

Tabla 2.5 Caracterización del residual en ciclo básico.

| Indicadores      | LMPP  | U/M              | Valor          |
|------------------|-------|------------------|----------------|
| PH               | 6 a 9 | U                | $9,1 \pm 0,18$ |
| CE               | 2000  | $\mu\text{S/cm}$ | $2260 \pm 53$  |
| DQO              | 160   | mg/L             | $680 \pm 2,3$  |
| DBO <sub>5</sub> | 60    | mg/L             | $204 \pm 1,2$  |

La caracterización de los residuales de la desmineralización de los rones muestra que estos cumplen con los índices de vertimiento establecidos para la laguna de oxidación, siendo el pH el elemento negativo a considerar. Quedará planteada entonces en el próximo capítulo, la propuesta de neutralización del residual de la regeneración de las resinas de intercambio iónico a fin de cumplir con la norma ambiental correspondiente.

#### 2.4.5 Caracterización de rones terminados.

A fin de chequear los principales parámetros de calidad del producto terminado, se escogieron para la caracterización los rones Cubay Carta Blanca, Carta Dorada y Añejo.

Tabla 2.6 Especificaciones de calidad del producto terminado (mg/L).

| Producto     | °GL - Grado alcohólico | Acidez | Aldehídos | Ésteres | Metanol | Suma de alcoholes superiores |
|--------------|------------------------|--------|-----------|---------|---------|------------------------------|
| Carta Blanca | 37,7 – 38,3            | 5 mín  | 20 máx    | 8 mín   | 10 máx  | 75 – 250 máx                 |
| Carta Dorada | 37,7 – 38,3            | 10 mín | 25 máx    | 5 mín   | 10 máx  | 75 – 250 máx                 |

|              |                    |               |               |              |               |                     |
|--------------|--------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------------|
| <b>Añejo</b> | <b>37,7 – 38,3</b> | <b>30 mín</b> | <b>25 máx</b> | <b>7 mín</b> | <b>10 máx</b> | <b>75 – 250 máx</b> |
|--------------|--------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------------|

Tabla 2.7 Cubay Carta Blanca. Especificaciones.

| <b>Muestra</b> | <b>°GL - Grado alcohólico</b> | <b>Acidez</b> | <b>Aldehídos</b> | <b>Ésteres</b> | <b>Metanol</b> | <b>Suma de alcoholes superiores</b> |
|----------------|-------------------------------|---------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| 1              | 38,1                          | 19,7          | 7,8              | 10,2           | 2,05           | 125                                 |
| 2              | 38,2                          | 18,9          | 8,4              | 9,9            | 2,08           | 127                                 |
| 3              | 38                            | 19,2          | 7,6              | 9,7            | 1,89           | 127                                 |
| 4              | 38,1                          | 19,1          | 6,5              | 10             | 2,7            | 126                                 |
| 5              | 38                            | 21            | 5,4              | 10,6           | 1,9            | 129                                 |

Tabla 2.8 Cubay Carta Dorada. Especificaciones.

| <b>Muestra</b> | <b>°GL - Grado alcohólico</b> | <b>Acidez</b> | <b>Aldehídos</b> | <b>Ésteres</b> | <b>Metanol</b> | <b>Suma de alcoholes superiores</b> |
|----------------|-------------------------------|---------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| 1              | 38,1                          | 47            | 6,7              | 5,2            | 1              | 158                                 |
| 2              | 38,2                          | 45            | 6,7              | 5,65           | 0,76           | 156                                 |
| 3              | 37,8                          | 45,4          | 6,2              | 5,7            | 0,73           | 158                                 |
| 4              | 38,1                          | 47            | 6,5              | 6              | 0,59           | 154                                 |
| 5              | 38                            | 46,3          | 6,7              | 5,9            | 0,45           | 160                                 |

Tabla 2.9 Cubay Añejo. Especificaciones.

| <b>Muestra</b> | <b>°GL - Grado alcohólico</b> | <b>Acidez</b> | <b>Aldehídos</b> | <b>Ésteres</b> | <b>Metanol</b> | <b>Suma de alcoholes superiores</b> |
|----------------|-------------------------------|---------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|
| 1              | 38,2                          | 87,6          | 8,57             | 10             | 0,9            | 147                                 |
| 2              | 37,8                          | 89,5          | 8,76             | 10             | 1,5            | 150                                 |
| 3              | 37,7                          | 91,3          | 8,67             | 9,47           | 1,47           | 147                                 |
| 4              | 37,9                          | 92            | 8,92             | 9,36           | 1,3            | 147                                 |
| 5              | 38,1                          | 92            | 8,89             | 9,98           | 0,9            | 148                                 |

Como se puede apreciar, estos resultados amparan la calidad estable de los rones Cubay, siendo este un aspecto en excelentes condiciones. El grado alcohólico y los compuestos mayoritarios presentes en el ron terminado son resultado de las características de las materias primas, procesos de añejamiento y dilución-filtración así como la propia formulación de los productos.

#### **2.4.6 Caracterización de los residuales totales de la fábrica.**

Los residuales líquidos de la Ronera Central están conformados fundamentalmente por:

- Residuales industriales:

Provenientes de las áreas de embotellado, fabricación, laboratorio y añejamiento, donde además se incluyen los almacenes de materias primas y productos terminados, así como el área de rehincho de barriles.

- Residuales de la actividad social:

Formados por áreas de aseo, áreas administrativas en general, cocina y comedor.

Existen dos fosas como órganos de tratamiento, la primera se encuentra ubicada en la parte posterior de la garita de entrada a la instalación y recibe los albañales de la garita y del Departamento de Recursos Humanos, ubicado junto a ella. La segunda está ubicada en la parte posterior del edificio administrativo y recibe todos los residuales generados de este edificio. Todos estos residuales luego de ser depositados en dichas fosa se incorporan a la red de alcantarillado del pueblo.

Para los residuales que se generan en la cocina-comedor existen dos líneas de salida, una ubicada en el centro del patio y la otra paralela y separada en la salida por muy poco espacio, y que tiene ubicado en su inicio una trampa de sólidos y grasa.

Los residuales líquidos industriales, por su parte, son evacuados por una conductora que va recogiendo en las diferentes áreas de trabajo en la que se cuenta con trampas de grasa instaladas en los puntos que lo requieren, al final de la misma se encuentra un registro que permite realizar los muestreos de todos los residuales industriales.

Como tratamiento primario para tratar estos residuales, tanto los de la actividad social como los del proceso, la instalación cuenta con una laguna de oxidación.

A continuación se observan las muestras de los residuales totales de la fábrica, tomadas a la entrada y salida de la laguna y con su correspondiente caracterización. De la tabla 2.10 se tiene que los indicadores de contaminación DBO<sub>5</sub> y DQO, según la norma de vertimiento (NC-27, 2012) son elevados al compararlos con los límites permisibles. De esta forma queda demostrada la ineficiencia de la laguna de oxidación, y quedará tratada en el próximo capítulo la propuesta de un tratamiento secundario con vistas a solucionar dicha problemática.

Tabla 2.10 Resultados de la caracterización de los residuales del proceso de fabricación.

| Indicadores | LMPP  | U/M   | Entrada/Salida<br>Laguna |
|-------------|-------|-------|--------------------------|
| pH          | 6 a 9 | U     | 7,73                     |
|             |       |       | 7,54                     |
| CE          | 2000  | μS/cm | 951                      |
|             |       |       | 1036                     |
| Temperatura | 40    | °C    | 25                       |
|             |       |       | 25                       |

|                         |         |      |      |
|-------------------------|---------|------|------|
| <b>Grasas y Aceites</b> | 10      | mg/L | <10  |
| <b>Materia flotante</b> | Ausente |      | <10  |
| <b>ST</b>               | -       | -    | 833  |
|                         |         |      | 903  |
| <b>Ssed</b>             | 3       | mL/L | 0,1  |
|                         |         |      | 0    |
| <b>DBO5</b>             | 60      | mg/L | 604  |
|                         |         |      | 222  |
| <b>DQO</b>              | 160     | mg/L | 1495 |
|                         |         |      | 506  |
| <b>Nt</b>               | 10      | mg/L | <5   |
| <b>Pt</b>               | 5       | mg/L | 1,72 |
|                         |         |      | 1,04 |

## *Capítulo 3: Evaluación económica y ambiental de las propuestas tecnológicas.*

### **3.1 Propuestas tecnológicas en las etapas de fabricación.**

Del diagnóstico realizado en las etapas del proceso de fabricación los principales puntos débiles se concentran en la dilución-filtración de aguardiente y alcohol diluidos, desmineralización de los rones, así como en el tratamiento de los residuales totales de la planta. Considerando lo anterior, se plantean las siguientes propuestas tecnológicas:

- 1) Sustitución del sistema de filtración a batch por un sistema de filtración de cama fija.
- 2) Neutralización del residual de la regeneración de las resinas de intercambio iónico durante la etapa de desmineralización de los rones.
- 3) Tratamiento secundario a los residuales de la planta con un humedal subsuperficial.

A continuación serán argumentadas estas propuestas tecnológicas.

#### **3.1.1 Filtración de aguardiente por cama fija.**

Mediante el sistema de filtración por cama fija reflejado en la Figura 3.1, el aguardiente se destufa poniendo en contacto por un tiempo determinado los aguardientes añejados con carbón activado granulado. Para ello se empleará una batería de filtros que consisten en tanques de acero inoxidable con una capacidad total diaria de 10 000 L aproximadamente. El diseño de estos filtros está bajo protección (Know How) de la corporación, por lo que no se especifican detalles técnicos del mismo.

En la parte superior del filtro se deja un espacio libre de acuerdo a la capacidad de cada filtro, que es ocupado por la porción superficial del líquido en filtración. La entrada del líquido se realiza por la parte superior del filtro y la salida por el espacio comprendido entre los dos fondos.

Los filtros se regeneran anualmente, sustituyéndolos por carbón virgen y realizando el endulzado de los mismos, el cual consiste en pasar dilución de alcohol de buena calidad de forma continua durante varios días hasta lograr que las sustancias carbonizadas que colorean el líquido en filtración de ámbar oscuro desaparezcan, dejando de arrastrar estas materias y quedando listo el filtro para entrar nuevamente

en el proceso. Las diluciones empleadas en esta operación serán reintegradas al proceso para ser aprovechadas nuevamente.

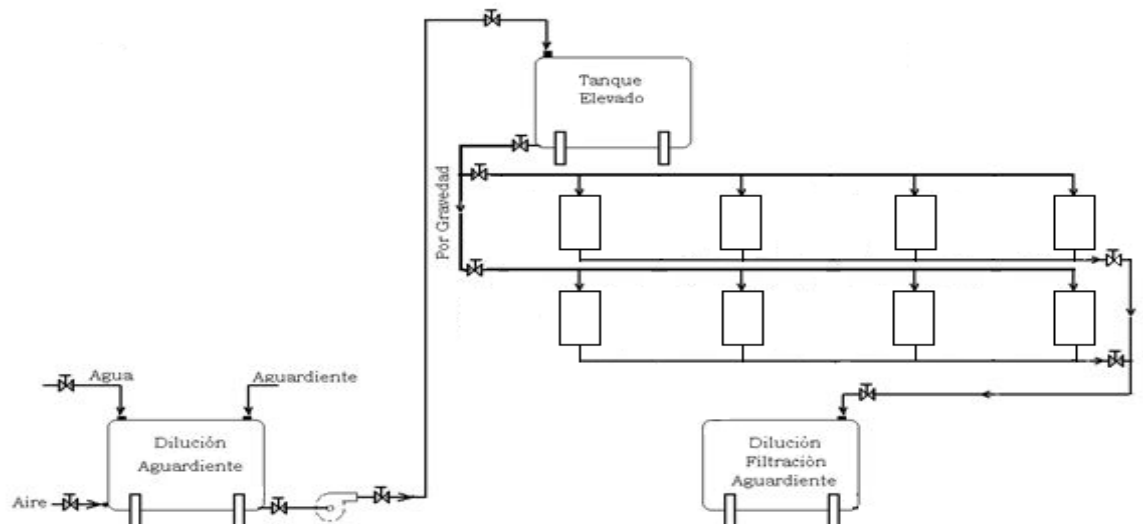


Figura 3.1 Dilución - filtración de aguardiente por cama fija.

Para evaluar el sistema de filtración propuesto e instalado, se analizaron las características a la entrada y salida del filtro, analizando el grado alcohólico, y alcoholes superiores por cromatografía gaseosa. Para ello, se tomaron 10 muestras para el aguardiente y el alcohol a la entrada y salida de los filtros para determinar la influencia de los parámetros de calidad con respecto al sistema instalado.

En la figura 3.2 se muestran los resultados del aguardiente para el control del grado alcohólico; de la misma se puede observar que se mantienen en el rango de  $54 \pm 0,5$  °GL, por lo cual no se aprecia variabilidad en este parámetro. (Statgraphics, 2006)

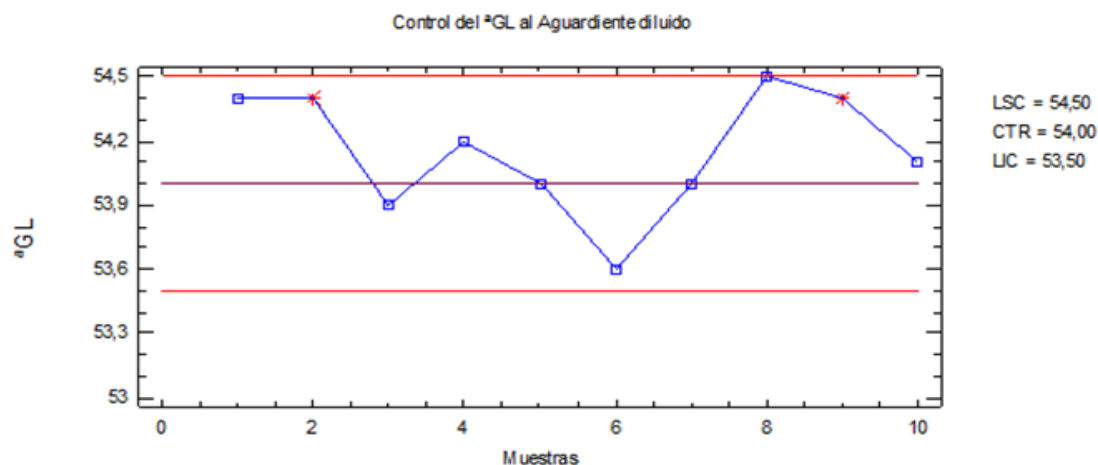


Figura 3.2 Gráfico de control del °GL del aguardiente diluido.

A continuación se reflejan los resultados de los análisis cromatográficos realizados al aguardiente a la salida de los filtros en el sistema por cama fija. Se observa una mayor disminución de las concentraciones en los compuestos mayoritarios a la salida, como son acetaldehído, acetato de etilo, n- propanol, isobutanol e isoamílico. Como resultado, se evidencia la efectividad de su implementación tomando como referencia los resultados de la cromatografía al aguardiente filtrado a batch.

Tabla 3.1 Remoción de compuestos indeseables en el aguardiente diluido ( $mg/L$ ).

| <b><u>Cama fija</u></b>   | Acetaldehído | Acetato de etilo | Metanol | n-propanol | Isobutanol | Isoamílico | Suma de alc superiores |
|---------------------------|--------------|------------------|---------|------------|------------|------------|------------------------|
| Aguardiente diluido       | 5,953        | 5,183            | 0,000   | 5,784      | 5,949      | 24,982     | 36,715                 |
| Aguardiente dil. filtrado | 4,301        | 4,046            | 0,000   | 2,590      | 4,786      | 24,086     | 31,462                 |

❖ La filtración de alcohol diluido se desarrolla bajo el mismo principio propuesto para el aguardiente añejado, quedando demostrada cromatográficamente la superior eficiencia de remoción con respecto al sistema batch. Este también mantiene controlado el grado alcohólico de  $54 \pm 0,5$  °GL reflejado en la Figura 3.3.

Tabla 3.2 Remoción de compuestos indeseables en el alcohol diluido ( $mg/L$ ).

| <b><u>Cama fija</u></b> | Acetaldehído | Acetato de etilo | Metanol | n-propanol | Isobutanol | soamílico | Suma de alc superiores |
|-------------------------|--------------|------------------|---------|------------|------------|-----------|------------------------|
| Alcohol diluido         | 0,000        | 0,000            | 0,000   | 0,140      | 0,000      | 0,000     | 0,140                  |
| Alcohol dil. filtrado   | 0,000        | 0,000            | 0,000   | 0,063      | 0,000      | 0,000     | 0,063                  |

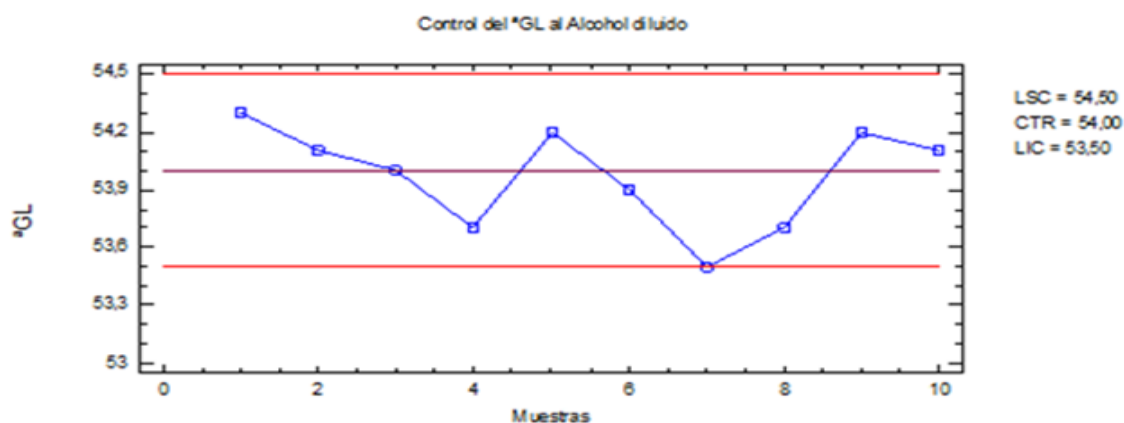


Figura 3.3 Gráfico de control del °GL del alcohol diluido.

Con esta sustitución del sistema de filtración a batch por cama fija, se introduce una nueva tecnología, la cual permitirá aumentar la capacidad operativa diaria y obtener una calidad superior de aguardiente filtrado desde el punto de vista físico-químico y

sensorial que permita garantizar con extrema eficiencia las producciones finales. La propuesta garantiza la reducción en el consumo de energía, agua, materias primas y materiales. Además se mejoran las condiciones de trabajo de los operarios y disminuye el vertimiento de residuos sólidos (77 %) y líquidos al medio ambiente, así como las mermas en la filtración hasta un 1,05 %.

### **3.1.2 Neutralización del residual líquido en la desmineralización.**

La operación del tratamiento con resinas de intercambio iónico tiene como objetivo reducir las posibilidades de sedimentación de los productos, pues dicho fenómeno se atribuye en gran parte a la presencia de iones metálicos en el ron. Estos iones son adsorbidos por la resina en el transcurso del tratamiento.

Este proceso cuenta con dos columnas desmineralizadoras en el área de fabricación, una para tratar rones blancos empleando ciclo ácido y otra para los rones oscuros para lo cual se emplea ciclo sodio.

Tanto para el funcionamiento de la columna ciclo ácido como para la de ciclo sodio, se deben efectuar las siguientes etapas:

- 1- Período de carga.
- 2- Retrolavado.
- 3- Paso de la solución regenerante.
- 4- Lavado de la resina.

El residual líquido generado al eliminar las suciedades depositadas en la resina durante el período de carga y la regeneración será tratado en un tanque con agitación para neutralizar el pH del efluente resultante.

Durante la etapa de retrolavado se comienza a generar el residual líquido, ya que en esta etapa se eliminan las suciedades depositadas en la resina durante el período de carga.

Para ello se pasan aproximadamente 2 000 L de agua a contracorriente durante un período de 30 min. Al concluir este tiempo se añaden 240 L de una solución de HCl rebajada con agua al 30 % ó de NaCl a una concentración de 24 °Be, la cual se deja en contacto con la resina por un período de 45 min. Posteriormente se pasa a la etapa de lavado de la resina añadiendo aproximadamente 2 000 L de agua en un período de 20 min para empujar la solución regenerante, generando en este proceso un volumen de residual 4 240 L aproximadamente

Este volumen de residual (4 240 L) será recuperado en un tanque de acero inoxidable con una capacidad de 10 000 L existente en la fábrica (antiguo disolutor), provisto de un agitador mecánico. Este será activado por un período de 20 min con el objetivo de mezclar todo el residual para luego tomar muestras de este y medir el pH. Teniendo en cuenta los resultados del análisis, el volumen del residual y el ciclo de trabajo, se añadirá posteriormente la solución neutralizante, para lo cual se proponen dos variantes:

**Variante 1:**

Añadir agua potable al volumen total del residual (4240 L) hasta completar los 10 000 L de capacidad del tanque disolutor, con lo que se disminuirá la concentración de ácido clorhídrico a 0,54 %, y a 0,58 °Be la de NaCl, para después ser vertido al medio, regulando al mínimo el caudal de la descarga.

**Variante 2:**

*Para ciclo ácido:* Añadir al volumen total del residual (4240 L), el agua residual de la regeneración de la planta de ósmosis inversa hasta completar los 10 000 L, hacer análisis de pH y añadir una solución básica según los resultados analizados.

*Para ciclo básico:* Añadir al volumen total del residual (4240 L) el agua residual de la planta de ósmosis inversa hasta completar los 10 000 L, hacer análisis de pH y evaluar los resultados para añadir una solución ácida.

**3.1.3 Humedal subsuperficial horizontal como tratamiento secundario al residual de la fábrica.**

Los humedales con flujo subsuperficial son estanques o canales con el fondo generalmente impermeable sobre el cual se coloca un medio poroso que puede ser suelo, arena o grava en el que se siembra las plantas emergentes. Las aguas residuales aplicadas a estos sistemas son generalmente pretratadas. Este tipo de humedales puede ser construidos con flujo horizontal subsuperficial, en el que el medio poroso se mantiene saturado por el agua, o con flujo vertical en el que el medio poroso no se encuentra saturado debido a que el agua se aplica usualmente sobre la superficie del lecho a intervalos de tiempo, lo que permite que el agua percole a través del medio, de forma similar a lo que sucede en un filtro de arena intermitente.(Silva, 2000)

Los humedales de flujo subsuperficial normalmente incluyen una o más cuencas o canales de poca profundidad de fondo recubierto para prevenir la percolación a la

capa freática susceptible a la contaminación. El tipo de recubrimiento depende de las condiciones locales. En algunos casos la compactación del suelo local es adecuada, mientras que en otros se debe traer arcilla o utilizar recubrimiento de membranas plásticas (PVC o PAD) (Ogden, 2000)

Según (Vymazal, 2007) y (Langergraber, 2007) los humedales construidos son considerados como instalaciones de bajo costo, baja complejidad tecnológica, consumo energético mínimo y armonía con el medio ambiente y se incluyen entre los llamados sistemas naturales de tratamiento. Son sistemas ingenieros que han sido diseñados y construidos, para utilizar los procesos naturales que tienen lugar entre la vegetación, el suelo y los microorganismos asociados, y así tratar las aguas residuales.

En los humedales la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales es llevada a cabo por una variedad de complejos procesos físicos, químicos y biológicos, que en la mayoría de las ocasiones ocurren simultáneamente.

Estos sistemas de tratamiento se han clasificado tradicionalmente en dos tipologías atendiendo a si la circulación del agua es de tipo subterránea o superficial. Debido a que el medio poroso brinda mayor área superficial para el crecimiento de los microorganismos, la velocidad de remoción en los sistemas con flujo subsuperficial es mayor. Por otra parte, como el agua en estos sistemas fluye por debajo de la superficie del medio, no se presentan problemas con el desarrollo de los mosquitos y otros vectores.

En Cuba, autores como (González, 2001), (González, 2006), (Deas, 2011) y (Bossens, 2014) han desarrollado diversas investigaciones sobre el empleo de humedales construidos de flujo subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales.

Los resultados obtenidos demostraron que estos sistemas de tratamiento son eficientes y factibles cuando se emplean como tratamiento secundario o terciario, obteniendo elevadas eficiencias de remoción de la mayoría de los contaminantes.

Por lo anteriormente planteado se propone el diseño y construcción de un humedal subsuperficial horizontal para el tratamiento de las aguas residuales efluentes de la laguna de oxidación de la Ronera Central y que las mismas puedan ser vertidas al cuerpo receptor cumpliendo con lo establecido en la norma de vertimiento vigente (NC-27, 2012).

El sistema de tratamiento instalado actualmente está compuesto por trampas de grasas colocadas en las conductoras donde van siendo evacuados todos los residuales industriales y del área de cocina, luego esta agua se vierte a una laguna de estabilización donde se completa el tratamiento primario. Debido a los elevados índices de contaminación de los residuales del proceso de fabricación de rones a la salida de la laguna existente en la fábrica, se propone como tratamiento secundario la inclusión del humedal subsuperficial dimensionado por (Roque, 2015).

#### **Dimensionamiento del humedal subsuperficial horizontal.**

El tiempo de retención (t) necesario para lograr la remoción de la materia orgánica en el humedal se calcula de acuerdo a la ecuación cinética obtenida por (Roque, 2015).

Ecuación cinética de saturación o Monod considerando la eliminación de la DQO:

$$\frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C_e} = \frac{k}{K} - \frac{1}{K} \left( \frac{C_0 - C_e}{t} \right)$$

Donde:

Q: Caudal 50 m<sup>3</sup>/d

Co: Concentración de DQO afluente 506 mg/L

Ce: Concentración de DQO efluente 130 mg/L

K: Constante de saturación, obtenida por Roque, (2015)

k: Constante cinética, obtenida por Roque, (2015)

El área superficial para la remoción de DQO se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$As = \frac{Q \cdot t}{y \cdot n}$$

Donde:

As: Área superficial

n: Porosidad 0,54

y: Profundidad 0,4 m

Obteniéndose que es necesario un humedal de **60 m<sup>2</sup>** para lograr la remoción de materia orgánica, por lo que se proponen celdas de 1 m de ancho y 30 m de largo. El esquema y los parámetros de diseño de una celda del humedal subsuperficial horizontal se muestran a continuación.

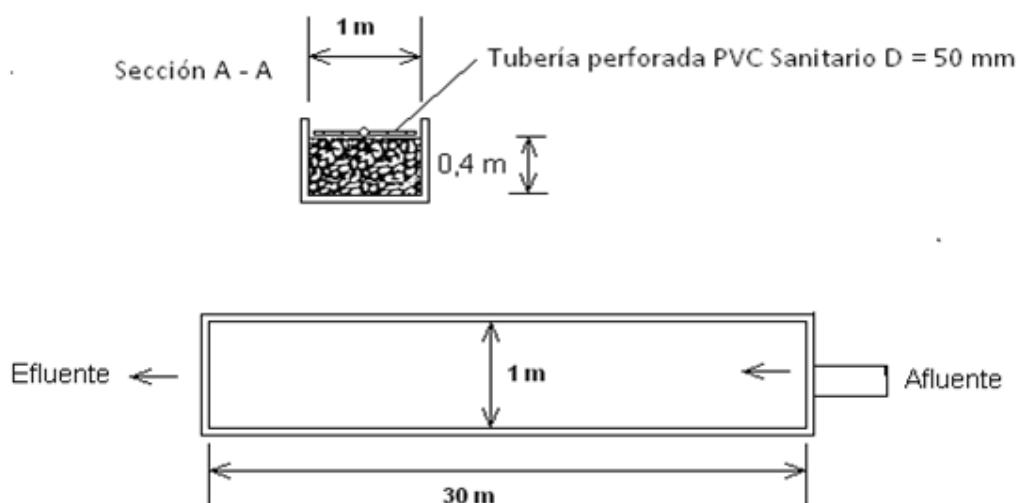


Figura 3.4 Esquema de una celda del humedal subsuperficial.

Tabla 3.3 Parámetros de diseño de una celda del humedal subsuperficial.

| Parámetros de diseño              |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Planta emergente                  | Cyperus<br>Alterniuifolius |
| Medio poroso                      | Suelo ferralítico Rojo     |
| Profundidad                       | 0,4 m                      |
| Largo                             | 30 m                       |
| Ancho                             | 1 m                        |
| Área superficial                  | 30 m <sup>2</sup>          |
| Pendiente                         | 0,01 m/m                   |
| Flujo                             | 0,6 m <sup>3</sup> /d      |
| Tiempo de retención<br>hidráulico | 1 día                      |

### 3.2 Análisis económico de las propuestas tecnológicas.

Tabla 3.4 Costos de adquisición de la propuesta tecnológica de cama fija.

| Recursos a adquirir         | Costo en<br>MLC |
|-----------------------------|-----------------|
| <b>Gastos de Inversión</b>  |                 |
| Tanques de acero inoxidable | 21 936          |
| Carbón                      | 8370            |

|                                                            |                  |
|------------------------------------------------------------|------------------|
| Carbón                                                     | 13662            |
| Electrodos de acero inoxidable AISI 316 (Ø 3mm)            | 104,4            |
| Electrodos de acero E-6013                                 | 42,60            |
| Válvulas de Globo de platillo Ø 1 ½" acero inoxidable      | 328,50           |
| Válvulas de cierre rápido de acero inoxidable roscada Ø ½" | 235,48           |
| Tornillos M-12 x 50 con tuerca                             | 5,40             |
| Válvula de globo de Ø ½"                                   | 42,64            |
| Viga I-200                                                 | 1223             |
| Material de oficina                                        | 100              |
| Válvula operada por flotante Ø ½"                          | 135,1            |
| Pintura Óxido Rojo.                                        | 12,20            |
| Pintura Esmalte Gris.                                      | 20,44            |
| Tubería de Ø ½"                                            | 1 200            |
| <b>TOTAL</b>                                               | <b>47 282,75</b> |

Tabla 3.5 Costos de adquisición de la propuesta de neutralización.

| Recursos a adquirir        | Costo en MLC |
|----------------------------|--------------|
| <b>Gastos de Inversión</b> |              |
| <b>TOTAL</b>               | <b>2 000</b> |

Tabla 3.6 Costos de adquisición de la propuesta del humedal subsuperficial.

| Recursos a adquirir              | Costo en MLC |
|----------------------------------|--------------|
| <b>Gastos de Inversión</b>       |              |
| Movimiento de tierra             | 150          |
| Recubrimiento                    | 306          |
| Medio Grava/Suelo                | 654          |
| Estructura de entrada y descarga | 78           |
| Costos de ingeniería             | 42           |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>1 230</b> |

Tabla 3.7 Costo total de adquisición de las propuestas tecnológicas.

| Tecnologías                         | Costo en MLC     |
|-------------------------------------|------------------|
| <b>Gastos de Inversión</b>          |                  |
| Sistema de filtración por cama fija | 47 282           |
| Neutralización                      | 2 000            |
| Humedal subsuperficial              | 1 230            |
| <b>TOTAL</b>                        | <b>50 512,75</b> |

Tabla 3.8 Elementos del Costo de Inversión.

| Elementos del Costo de Inversión | Costo en MLC |
|----------------------------------|--------------|
|----------------------------------|--------------|

|                                         |                    |
|-----------------------------------------|--------------------|
| <b>Costos directos (CD)</b>             |                    |
| Costo del Equipamiento                  | 50 512,750         |
| Instalación del Equipamiento            | 23 740,993         |
| Instrumentación y Controles (Instalado) | 18 184,590         |
| Tuberías (Instaladas)                   | 34 348,670         |
| Sistemas Eléctricos (instalados)        | 5 556,403          |
| Movimiento de terrenos                  | 551,275            |
| Costos totales directos                 | 137 394,680        |
| <b>Costos Indirectos (CI)</b>           |                    |
| Ingeniería y Supervisión                | 16 669,208         |
| Contingencias                           | 22 225,610         |
| Costos totales indirectos               | 38 894,818         |
| Inversión fija (If) = CD + CI           | 176 289,498        |
| Inversión de trabajo (Itrab)            | 37 884,563         |
| <b>Costo total de inversión</b>         | <b>214 174,060</b> |

### 3.2.1 Análisis económico de la producción.

Tabla 3.9 Consumo de materias primas.

| Nombre de los materiales                        | Precio \$ | Consumo anual | Costo anual de los materiales \$/a |
|-------------------------------------------------|-----------|---------------|------------------------------------|
| Aguardiente HL                                  | 73,44     | 14 886        | 1 093 227,84                       |
| Alcohol HL                                      | 103       | 52 980        | 5 456 940                          |
| Azúcar Kg                                       | 0,53      | 59 545        | 31 558,85                          |
| Agua m <sup>3</sup>                             | 0,10      | 8 000         | 800                                |
| Color caramelo Kg                               | 0,54      | 899           | 485,46                             |
| <b>Costo total anual de las materias primas</b> |           |               | <b>6 583 012,15</b>                |

Tabla 3.10 Elementos de Costo de Producción.

| Elementos de Costos        | Base         | Costo (\$/año) |
|----------------------------|--------------|----------------|
| Materias Primas            | -            | 6 583 012,15   |
| Mano de Obra               | -            | 194 400        |
| Supervisión                | Mano de Obra | 19 440         |
| Mantenimiento y reparación | Inv. Fija    | 3 525,79       |
| Suministros                | Mto y Rep.   | 352,579        |
| Cargos de Laboratorios     | Mano de Obra | 9 720          |

|                            |               |               |
|----------------------------|---------------|---------------|
| Costos Variables           |               | 6 810 450     |
| Seguros e Impuestos        | Inv. Fija     | 1 762,895     |
| Costos Fijos               |               | 2 468,053     |
| Costos exteriores          | MO+Sup+ Mto   | 108 682,895   |
| Costos de Fabricación      |               | 6 921 601,467 |
| Administración             | MO+Sup+ Mto   | 32 604,868    |
| Distribución y venta       | C. Total Prod | 144 879,299   |
| Investigación y Desarrollo | C. Total Prod | 144 879,299   |
| Gastos Generales           |               | 322 363,466   |
| Costos Totales de Prod     |               | 7 243 964,933 |

En este epígrafe se presentó una valoración económica de las propuestas tecnológicas, donde se evaluaron los costos de inversión y producción. Se realizará a continuación un estudio de sensibilidad basado en la asignación de valores a las producciones anuales y se presentan los indicadores dinámicos (Peters, 2003)

Tomando como referencia la producción anual del año 2015 de 380 HL, se obtienen de ingresos por ventas de 7 372 000 CUC, por lo que la ganancia sería de 128 035,367 CUC.

Tabla 3.11 Análisis de sensibilidad económica.

| Ingresos por ventas (CUC/a) | Producción (HL/a) | Ganancia (CUC/a) | TIR (%) | PRD (a) |
|-----------------------------|-------------------|------------------|---------|---------|
| 7 275 000                   | 375               | 31 035           | 11      | 15      |
| 7 372 000                   | 380               | 128 035          | 55      | 2       |
| 7 469 000                   | 385               | 225 035          | 96      | 1       |
| 7 566 000                   | 390               | 322 035          | 137     | 0,8     |

Según el análisis de sensibilidad se aprecia que la planta debe mantener su producción anual por encima de 380 HL, para lograr una recuperación de la inversión de las propuestas tecnológicas en un tiempo razonable y teniendo en cuenta además la reciente instalación de paneles fotovoltaicos en la entidad, lo cual indica la necesidad de una tendencia al aumento de las producciones en un futuro cercano.

## *Conclusiones*

1. La metodología propuesta para el análisis complejo del proceso de producción de rones permite trazar la ruta hacia la gestión de la innovación con el fortalecimiento de su patrimonio tecnológico.
2. El diagnóstico general de la planta detectó las principales fortalezas, debilidades y puntos débiles, siendo estos últimos principalmente en las etapas de dilución - filtración de aguardiente y alcohol diluidos, la elaboración de sirope alcoholizado, la desmineralización de los rones y el tratamiento de los residuales totales de la fábrica.
3. Las alternativas tecnológicas propuestas en el proceso de fabricación de rones fueron: la instalación de un sistema de filtración por cama fija, montaje de un tanque para la neutralización de los residuales de la desmineralización, y la construcción de un humedal subsuperficial como tratamiento secundario a los residuales de la planta.
4. El sistema de filtración por cama fija permite aumentar la capacidad operativa a 10 000 L al día y obtener una calidad superior de aguardiente y alcohol filtrados desde el punto de vista físico-químico y sensorial garantizando con elevada eficiencia las producciones finales.
5. Las propuestas de tratamiento de los residuales líquidos en la planta permite adecuarlos según las normas de vertimiento, así como fortalecer la producción de la empresa hacia el uso de tecnologías más limpias y eficientes.
6. La estabilidad económica y financiera de la fábrica, amparada por mayores producciones y manteniendo una calidad estable de sus productos, permitirá con elevada eficiencia tecnológica y ambiental, el desarrollo de nuevos productos y mercados, elevando el patrimonio tecnológico de la casa del Ron Cubay.

## *Recomendaciones*

1. Que se utilice la metodología propuesta para el Análisis Complejo de Procesos en el sistema de gestión de la innovación en la fábrica.
2. Que se implementen las propuestas tecnológicas planteadas a fin de mejorar la eficiencia productiva y compatibilidad medioambiental del proceso.
3. Que se mantengan los estudios de nuevas alternativas tecnológicas dirigidos a fortalecer la gestión de la innovación como la destilación de aguardiente en la entidad.
4. Construir el sistema de tratamiento propuesto en la Ronera Central y evaluar el comportamiento del mismo.

## Bibliografía

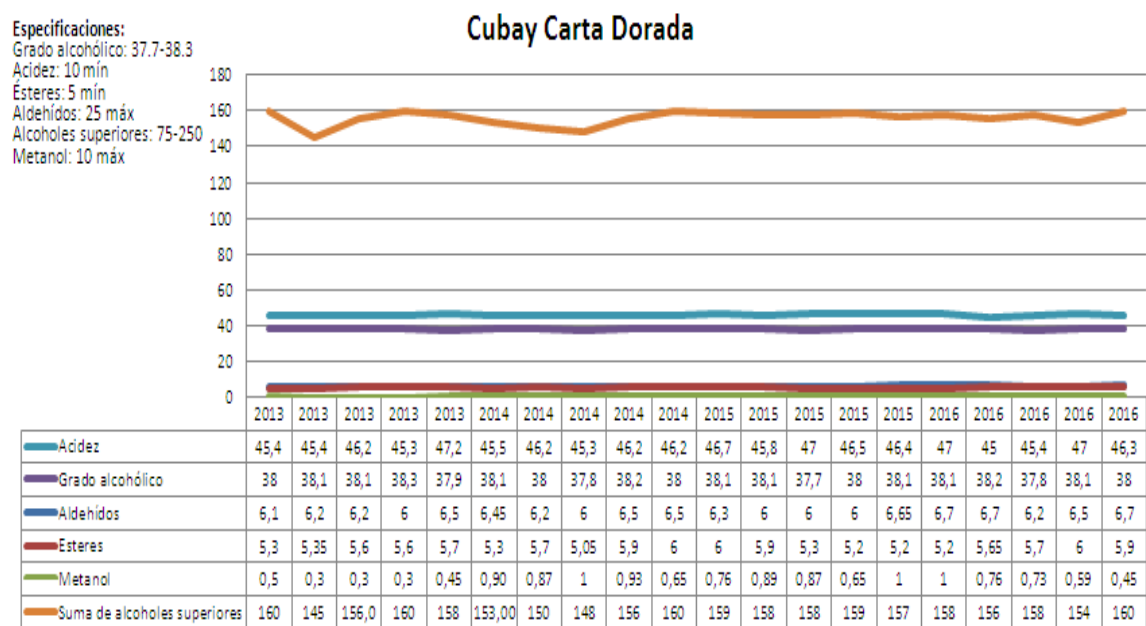
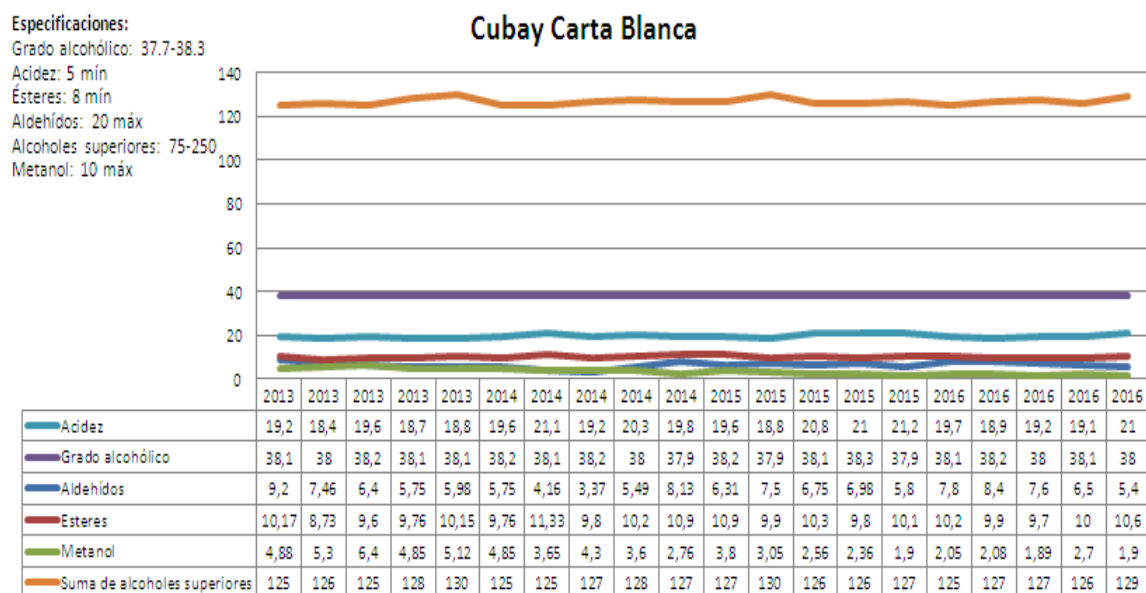
1. ARBOLÁEZ, L. 2012. Historia del ron cubano. *Granma*.
2. BOSSENS, J. 2014. Vertical flow constructed wetlands: kinetics of nutrient and organic matter removal.
3. BUJAN, J. 1997. *Cuaderno de vino: Enología Rubes*
4. BUSTAMANTE, R. 2014. *Mercado mundial de los rones* [Online]. Available: [www.coctelybebida.com](http://www.coctelybebida.com).
5. COLABORADORES. Control estadístico del proceso de calidad. 2004.
6. CHATONNET, P. 1993. *Matrise de la chauffe du brulage en tinellerie. Application a la vinification et a l'elevage de vins en barriques. Tonellerie*.
7. DEAS, G. 2011. Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal.
8. GONZÁLEZ, E. 2004. El pulpeo con etanol como alternativa para incrementar la competitividad de fábricas de papel mediante su desarrollo prospectivo integrado a industrias de la caña de azúcar.
9. GONZÁLEZ, O. 2006. *Remoción de nitrógeno y fósforo en humedales con flujo subsuperficial horizontal*.
10. GONZÁLEZ, O. A. 2001. *Estudio del comportamiento de humedales con flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas residuales*., Ciudad de La Habana, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría (ISPJAE).
11. GONZÁLEZ Y COL., E. 1993. Aplicación del Análisis Complejo de Procesos en la intensificación de instalaciones de la Industria Química en países en vías de desarrollo.
12. GRIASTNOV, B. P. 1974. Hacia la selección del componente clave para la dirección programada de los procesos de depuración acorde a su concentración en el plato de control de la columna. *Fermenti Sport Prom*.
13. GUTIERREZ, A. 2011. *Procedimientos de elaboración* [Online]. Available: [elgrancatador.imujer.com](http://elgrancatador.imujer.com)
14. GUZMÁN, M. 2010. Historia de la Ronera Central.
15. HERNÁNDEZ, G. 2006. *El uso de la Placa Clarificante y Abrillantadora SEITZ – K 200 IR en el Proceso de filtración de rones*.
16. JEYA, C. Statistical Quality Control. In: LLC., C. P., ed., 2001 The Pennsylvania State University. Department of Industrial and Manufacturing Engineering. .
17. KADLEC, R. H. 1996. *Treatment Wetlands*.
18. KODIN, G. S. 1969. Sobre el mecanismo de la influencia del carbón activo en la mezcla de agua-alcohol. *Fermenti Sport Prom*.
19. LANGERGRABER, G. 2007. Optimization of subsurface vertical flow constructed wetlands for wastewater treatment. *Water Science & Technology*.
20. MARTÍ, C. 2009. Etapas del proceso de fabricación.
21. MARTÍ, C. 2010. Características de los rones cubanos.
22. MARTÍ, C. 2016. Cartera de productos.
23. MIRANDA, M. 2016. *Distribuidora Cuba Ron S.A.* [Online]. Available: [www.cubaron.com](http://www.cubaron.com).

24. MITCHAM, C. 1994. *Thinking Through Technology, The Path Between Engineering and Philosophy*, Chicago, University of Chicago Press.
25. MORALES, A. Curso de fabricación de rones. 2006.
26. NC-27 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado - Especificaciones. In: ONN (ed.). La Habana.
27. NC-XX 2009. NC- XX: 2009. Anteproyecto de Norma. Alcohol etílico. Especificaciones. Cuba.
28. NELSON, R. 1982. *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge, Belknap Press.
29. NIVAS, N. 1993. *Sistema de secado de madera de roble para tonelería*, Viti Vinicultura
30. OGDEN, M. 2000. Humedales de flujo subsuperficial. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*.
31. ONISHI, M. 1977. *Changes in some volatile constituents of brandy during aging*, Enol. Vitic.
32. OSHMIAN, G. L. 1961. *Sobre la actividad química del carbón activado sobre los destilados*, TsNIPE.
33. PALACIOS, A. 2016. *Agua desmineralizada* [Online]. Available: [www.lenntech.es](http://www.lenntech.es).
34. PARFAIT, A. 1975. *Formation of higher alcohols in rum*, Annales de Technologie Agricole.
35. PEQUEÑO, M. 1985. *Análisis del comportamiento de los parámetros de calidad en diferentes etapas del proceso en la planta cloro sosa*. Trabajo de Diploma.
36. PÉREZ, J. 2001. Obtención de alcohol de primera calidad.
37. PETERS, M. T., K. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* Internacional.
38. QUERIS, O. 2007. *Ciencia y Tecnología de Bebidas Destiladas, Rones*. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
39. RAMÍREZ, N. 2016. *El ron y sus características* [Online]. España. Available: [www.alambiques.com](http://www.alambiques.com).
40. REAZIN, G. H. 1969. *Formation of major congeners during fermentation*, American Chemical Society.
41. REAZIN, G. H. 1976. Determination of the congeners produced from ethanol during whisky maturation. *J. of AOAC*, 59.
42. REED, S. 1995. *Natural Systems For Waste Management and Treatment*, New York.
43. ROQUE, L. 2015. *Diseño de un humedal subsuperficial horizontal como tratamiento secundario de las aguas residuales de la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena"*. Trabajo de Diploma, UCLV.
44. SALGADO, R. 2015 *Mercado cubano del ron* [Online]. Cuba Ron S.A. Available: [www.marketing4food.com](http://www.marketing4food.com).
45. SÁNCHEZ, N. 2016. *Rones del mundo* [Online]. Available: [www.jmarcano.com](http://www.jmarcano.com).
46. SILVA, J. P. 2000. Humedales construidos.
47. STATGRAPHICS 2006.

48. SUOMALAINEN, H. 1980. *Aroma origin in alcoholic beverages*, Nahrung.
49. TREYBAL, R. E. 1988. Operaciones con transferencia de masa.
50. VIAMONTE, G. 2016. *Ron: Su nombre e historia* [Online]. Available: [www.jmarcano.com](http://www.jmarcano.com).
51. VYMAZAL, J. 2007. *Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Science of the total environment*.
52. WATSON, J. T. 1989. Performance Expectations and loading Rates for Constructed Wetlands.

## Anexos

### 1. Especificaciones de calidad de productos terminados.



### Especificaciones

Grado alcohólico: 37.7-38.3

Acidez: 30 mín

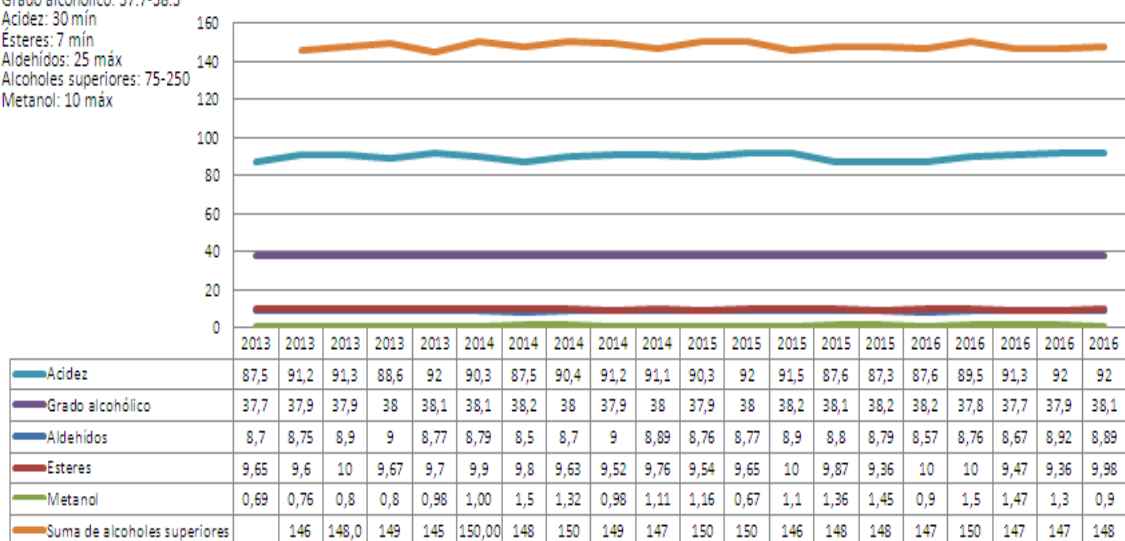
Ésteres: 7 mín

Aldehídos: 25 máx

Alcoholes superiores: 75-250

Metanol: 10 máx

### Cubay Añejo



## 2. Productos terminados.



## 3. Bodegas de añejamiento.





4. Tanque para neutralización.



5. Laguna de oxidación de la Ronera Central.



6. Humedal de flujo subsuperficial horizontal.

