

**“UNIVERSIDAD DE MATANZAS”
FACULTAD DE CIENCIAS TECNICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**



**Modificaciones tecnológicas al proceso fabril de la empresa Ron Yucayo
para obtener dos tipos de rones Carta Blanca y Añejo.**

**Trabajo de Diploma presentado como requisito parcial para optar por el título
de Ingeniero Químico.**

Autora: Cristell Valle Cervera

Tutores: M. Sc. Milagros Beatón Berenguer

Dr. Marcelo Marcet Sánchez

Matanzas, Cuba,

2021

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Cristell Valle Cervera declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma que lleva como título: Propuesta de mejoras tecnológicas al proceso fabril de la empresa Ron Yucayo para obtener dos tipos de rones Carta Blanca y Añejo y autorizo a la Universidad de Matanzas a hacer uso del mismo con los fines que estimen convenientes.

Nombre y Apellidos

Firma

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Tribunal

Miembro del Tribunal

Miembro del Tribunal

Calificación

Ciudad, fecha

PENSAMIENTO

“Nunca consideres el estudio como un obligación, sino como un oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a todos los que de una manera u otra dieron muestra de apoyo a que este Trabajo de Diploma fuera posible, en particular a:

- Mis padres y a toda mi familia por su apoyo en todos estos años de estudios.
- Mi tutora M. Sc. Milagros Beatón Berenguer por sus orientaciones y sus preocupaciones constantes en vista a la culminación exitosa de este trabajo de diploma.
- Al profesor Marcelo Marcet Sánchez por su contribución innegable en este trabajo.
- A todos mis profesores que me brindaron sus conocimientos en esta etapa de formación profesional.
- A mi compañero de estudios y de vida Daniel Alejandro Matamoro Pérez por su apoyo y cariño.

A Todos muchas Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo se realiza con el objetivo de proponer modificaciones tecnológicas al proceso fabril de la Empresa Ron Yucayo para obtener dos rones, Carta Blanca y Añejo, a partir de nuevas formulaciones con la mezcla de Aguardiente, Alcohol y Agua desmineralizada, para una capacidad de producción de 4 200 litros por día. Se realiza la caracterización química de las materias primas a emplear en los nuevos rones según lo establecido en la Resolución No.12/2019 del MINAL publicada en la Gaceta Oficial de la República de Cuba No.18/2019, obteniéndose como resultado que las materias primas cumplen con los requisitos de calidad establecidos para la producción de rones (presentan bajo contenido de impurezas como componentes volátiles mayoritarios, alcoholes superiores y carbamato de etilo) y que se puede producir Ron Carta Blanca, a partir del ron base de un año de añejamiento (66,67%) y agua desmineralizada (33,33%), y Ron Añejo con la mezcla de ron base de cinco años (46,64%), ron base de un año (20,06%) y agua desmineralizada (33,3%). Luego de analizar el proceso tecnológico de esta empresa, fundada en 1926, se propone realizar el diseño de la red hidráulica del proceso completo de tratamiento de agua y del proceso de producción del ron, ya que el trasiego de los fluidos, se realiza a través de mangueras. Se plantean los balances de masas necesarios para el diseño de equipos. Se proponen las metodologías para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento, filtro prensa y proceso de tratamiento de agua por osmosis inversa. Por último se describe el análisis económico de la inversión a realizar.

ABSTRACT

This work is carried out with the objective of proposing technological improvements to the manufacturing process of the Ron Yucayo Company to obtain two rums, Carta Blanca and Añejo, from new formulations with the mixture of Aguardiente, Alcohol and Demineralized Water, for a capacity of production of 4 200 liters per day. The chemical characterization of the raw materials to be used in the new rums is carried out as established in Resolution No. 12/2019 of MINAL published in the Official Gazette of the Republic of Cuba No. 18/2019, obtaining as a result that the materials Premiums meet the quality requirements established for the production of rums (they have a low content of impurities such as major volatile components, higher alcohols and ethyl carbamate) and that Ron Carta Blanca can be produced, from the base rum of one year of aging (66,67%) and demineralized water (33,33%), and Aged Rum with the mixture of five year old base rum (46,64%), one year base rum (20,06%) and demineralized water (33,3%). After analyzing the technological process of this company, founded in 1926, it is proposed to design the hydraulic network of the complete water treatment process and the rum production process, since the transfer of fluids is carried out through of hoses. The mass balances necessary for the design of equipment are raised. Methodologies for the sizing of storage tanks, filter press and the reverse osmosis module are proposed. Finally, the economic analysis of the investment to be made is described.

Tabla de Contenido

Introducción.....	1
Capítulo I Análisis bibliográfico.	3
1.1. Ron.	3
1.1.1. Tipos de rones.....	4
1.1.2. Mercado del ron en el mundo y en Cuba.....	7
1.2. Proceso de elaboración del ron.....	11
1.2.1. Materias primas fundamentales.....	13
1.2.2. Osmosis Inversa.....	18
1.2.3. Normas de calidad cubanas.	20
1.2.4. Impurezas en las bebidas alcohólicas.	20
1.3. Carbón activado. Generalidades, empleo y aplicaciones.....	22
1.3.1. Empleo del carbón activado en la industria ronera.....	23
1.3.2. Formas de aplicación del carbón activado.....	24
1.4. Conclusiones parciales del capítulo.	26
Capítulo 2 Materiales y Métodos.....	27
2.1 Caracterización del proceso de elaboración de ron en la empresa Ron Yucayo.....	27
2.1.1 Diagnóstico técnico y operacional de la empresa Ron Yucayo.	28
2.2 Materias primas para la elaboración de nuevos rones.....	29
2.3 Caracterización química de las materias primas.....	30
2.4 Selección de los rones base.	33
2.5 Balances de Masa.....	38
2.6 Diseño de Equipos.	41
2.6.1 Diseño de los tanques de almacenamiento para materias primas y producto.....	42
2.6.2 Mejoras en el sistema de tratamiento de agua para la producción de ron.	42
2.6.3 Diseño del filtro prensa para la eliminación de carbón activado.....	50
2.7 Diseño de un sistema de flujo de fluidos.....	54

2.8	Metodología para el análisis económico.	59
2.8.1	Costos de inversión.	61
2.8.2	Costos de producción.	65
2.8.1	Indicadores económicos de la eficiencia de la producción.	70
2.8.2	Indicadores de la eficiencia económica de la inversión.	73
	Conclusiones.	76
	Recomendaciones.	77
	Bibliografía.	78
	Anexos.	86

Introducción.

En los últimos años se ha presenciado un aumento considerable en las ventas de bebidas alcohólicas principalmente rones 100 % cubanos en nuestro país y en el mundo, debido a su innegable calidad y variedad demostradas en diferentes eventos de carácter internacional en los cuales el ron cubano ha quedado en lo más alto a ese nivel.

El ron en Cuba se produce en diferentes empresas roneras a lo largo de todo el país, a partir de la mezcla de agua desmineralizada o suavizada, alcohol y aguardiente, este último obtenido de la fermentación y destilación del jugo de caña, según la Resolución 12 del MINAL. Esta resolución establece los tipos de materias primas y su composición química, así como las características de los procesos para la obtención de los rones y los tipos de estos que pueden ser producidos en Cuba y comercializados en nuestro país y en el extranjero (GOC, 2019).

El proceso de producción de rones contempla etapas inviolables por estar estrechamente vinculadas con las propiedades organolépticas del ron, como son la fermentación, destilación y añejamiento. En nuestro país hay fábricas que realizan los procesos de fermentación de compuestos azucarados para obtener alcoholes, y del jugo de caña para la obtención del aguardiente, seguidos de procesos de destilación (realizados bajo estrictas condiciones constructivas y de operación del equipamiento), que permiten obtener un aguardiente con las características organolépticas requeridas. Luego se realizan varias etapas de añejamiento del aguardiente y mezclado, para obtener rones bases y por último los rones comerciales. La empresa Ron Yucayo, compra el alcohol y el aguardiente, con una etapa de añejamiento y realiza mezclas, adicionando agua suavizada para obtener rones comercializados en el territorio.

En la actualidad existe un déficit, en el mercado nacional, de rones, con precios accesibles según salario actual de la población, debido fundamentalmente a escases de materias primas y tecnologías obsoletas en las fábricas, como ocurre en la fábrica Ron Yucayo, con tecnología del año 1 926 y principal abastecedora de ron en la provincia de Matanzas. Este proceso productivo es discontinuo, con

transporte de los fluidos a través de mangueras (en la cual ocurren pérdidas por derrame y/o salideros), previsto de un sistema ineficiente de medición de flujo, tratamiento de agua y sistema de mezclado, el cual se realiza de forma neumática, con elevados gastos energéticos, por el uso de compresores, y limitada capacidad de almacenamiento.

Por todo lo antes expuesto, se propone como **problema científico** de la investigación:

¿Cómo mejorar la tecnología de la Empresa Ron Yucayo para obtener rones nuevos, Carta Blanca y Añejo, a partir de materia prima local?

Como posible solución al problema se plantea la siguiente **hipótesis** de trabajo: Si se realiza un diagnóstico del proceso tecnológico de la empresa Ron Yucayo en cuanto a capacidad, estado técnico y operacional de los equipamientos, se podrán proponer modificaciones tecnológicas con vistas a asimilar nuevas producciones.

Teniendo en consideración los aspectos anteriores el presente trabajo tiene como **objetivo general**:

Proponer modificaciones tecnológicas al proceso fabril de la empresa Ron Yucayo para obtener dos tipos de rones, Carta Blanca y Añejo.

Para dar cumplimiento al objetivo general se formulan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar diagnóstico técnico del proceso tecnológico de la empresa Ron Yucayo.
2. Caracterizar químicamente las mezclas para la obtención de nuevos rones.
3. Plantear los balances de masas necesarios para el diseño de los equipos propuestos.
4. Explicar la metodología para el diseño de los equipos propuestos y del sistema hidráulico para el trasiego de los fluidos.
5. Describir el análisis económico de la inversión a realizar.

Capítulo 1. Análisis bibliográfico.

En este capítulo se analiza el estado del arte a cerca del ron, sus tipos, materias primas que se emplean, tecnologías para su elaboración, comercialización en Cuba y el mundo, normas de calidad que se utilizan para la caracterización de la materia prima y del ron obtenido, basadas en lo regulado por la Gaceta Oficial de la República, y principales impurezas en esta bebida.

1.1. Ron.

El ron es una bebida alcohólica, elaborada a partir de la caña de azúcar o de melazas por fermentación. El producto es destilado a altas temperaturas usando alambiques de cobre o de acero inoxidable para obtener un alto contenido de etanol. El destilado resultante es diluido entonces con agua pura desmineralizada hasta alcanzar una concentración de etanol de entre el 35 y 40%. Posteriormente, de forma opcional, es sometido a procesos de añejamiento, generalmente en barricas de roble (Belmonte *et al.*, 2018).

Los precursores del ron datan de poca antigüedad. Se cree que el desarrollo de bebidas fermentadas a partir de la caña de azúcar ocurrió en la antigua Grecia y luego salió desde allí. Un ejemplo cercano es la bebida llamada Mortal. Producido por la gente de Malasia, el ron data de miles de años atrás. También Marco Polo dijo alguna vez en el siglo XIV que un "muy buen vino de azúcar" se le había sido ofrecido en Persia, lo que hoy es el Irán moderno. La primera destilación de ron tomó lugar en las plantaciones de caña de azúcar del Caribe en el siglo XVII. Los esclavos de las plantaciones fueron los primeros en descubrir este producto, posteriormente era pasado por procesos de refinación de azúcar, que era fermentado en alcohol (Lima y Franco, 1994).

Los primeros rones conocidos fueron creados por D. Facundo Bacardí y Masó hace más de 150 años. Estos tipos de rones secos y ligeros, producidos principalmente en las Antillas Españolas (Cuba, República Dominicana y Puerto Rico) y en las Islas

Vírgenes, emplean levaduras cultivadas para la fermentación y para la destilación, alambiques modernos y de operación continua (Ramírez, 2016).

1.1.1. Tipos de rones.

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, o de edades, 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 (Lima y Franco, 1994).

A pesar de lo antes expuesto según Blusher (2005) 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 Rones 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.

Los tipos de rones que se producen actualmente son:

- Ron blanco: Se caracteriza por la ausencia de color, aunque puede tener un ligero tono amarillo. Debe proceder de aguardientes, destilados o de sus mezclas, que hayan permanecido en envases de madera de roble o cerezo el tiempo adecuado.
- Ron dorado. Debe proceder de aguardientes, que hayan permanecido en envases de madera de roble o cerezo.
- Ron añejo. Debe proceder de aguardientes, que hayan permanecido en envases de madera de roble o cerezo durante un tiempo no inferior a un año.
- Ron viejo. Debe proceder de aguardientes, que hayan permanecido en envases de madera de roble o cerezo durante un tiempo no inferior a tres años.
- Ron dulce o licor de ron. Se caracteriza por contener más de 100 g/L de sacarosa o equivalente en glucosa.

- Ron agrícola. Es la mención que reciben los rones producidos en los departamentos de ultramar franceses, se envejecen en maderas de roble o cerezo.
- Ron escarchado. Se caracteriza por alcanzar la sobresaturación de azúcar, presentándose cristalizado en ramas vegetales que sirven de soporte.
- Ron ligero. Esta mención se refiere a la consistencia del líquido de este ron se destila en alambiques de tipo continuo.

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).

Existen cuatro pilares que garantizan la excepcional calidad de nuestros rones (René, 2020):

- 1- La natural caña de azúcar: Cuando se produce el ron, la calidad de la caña de azúcar es fundamental, pues de ella depender el resultado final. La nuestra posee características específicas que le conceden un reconocimiento mundial. A pesar de utilizar las mismas técnicas, con una caña de azúcar de distinto origen se obtiene un resultado diferente. Una vez cosechada la caña, se produce el azúcar de la cual se consigue una miel oscura y muy dulce. Al prensar los tallos de caña de azúcar se logra el jugo de la caña y luego este se calienta para separar los cristales de azúcar. La miel cubana o melaza, como también se le conoce, se distingue del resto pues posee un porcentaje de azúcar muy elevado de (52-54%) y se conserva por más tiempo (3-4 años).
- 2- El agua natural: El agua natural y cristalina es otro de los ingredientes que distingue la producción del ron cubano. Por ejemplo, la destilería de San José de las Lajas, ubicada en la provincia de Artemisa, cuenta con un impresionante manantial subterráneo situado justo debajo. Gracias a la filtración natural a través de las capas de arena y grava, el agua del lugar es de una excepcional calidad.

- 3- Levadura: La caña de azúcar y el agua se mezclan con un tercer ingrediente, una levadura única. La levadura es un organismo 100% natural y vivo que debe ser tratado con mucho cuidado. Mantenerla sana e inalterada permite un aguardiente, y por lo tanto un ron, de estilo característico e invariable.
- 4- Aguardiente: El segundo pilar que distingue la calidad del ron cubano es nuestro aguardiente. Los tres ingredientes antes mencionados, en especial la selección de las mejores mieles de caña de azúcar, garantizan la producción, fermentación y cuidadosa destilación del aguardiente.

Teniendo en cuenta el color, grado de añejamiento, dulzor y otras características menos definibles, los rones cubanos se pueden dividir en diferentes clases (Cruz, 2016):

- 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.

1.1.2. Mercado del ron en el mundo y en Cuba.

AL principio, no fue considerado una de las bebidas alcohólicas favoritas de los consumidores, pero con el paso del tiempo se ha convertido en una de las

elecciones predilectas de los fanáticos de la coctelería, es uno de los destilados más versátiles del mercado y de forma magistral, ha logrado colarse en los bares, establecimientos nocturnos, en las casas, fiestas y momentos especiales, y se estima que es uno de los más solicitados en todo el mundo (Jiménez, 2020).

Hasta hace poco era visto como un producto de poca calidad, de bajo precio para hacer coctelería dulce. Durante los últimos años comenzó a crecer gracias a la producción de los rones Premium, con largo envejecimiento y botellas elegantes a un precio más accesible que el del whisky escocés. Esto ayudó a poner el ron como una opción de consumo (Noriega, 2020 citado por Jiménez, 2020).

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 (Cruz, 2016).

Entre toda variedad y cantidad de marcas especializadas en la elaboración de ron, las grandes enseñanzas 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).

Según un artículo publicado en la página oficial de Havana Club (2021), esta empresa ganó 12 medallas en el "*Spirits Business and Drinks Business Autumn Tasting*", competencia que requirió tres paneles de expertos en bebidas espirituosas de todas las categorías, para elegir las de mayor calidad a nivel internacional. En este mismo sitio, pero el 4 de septiembre se dio a conocer también la destacada participación de Havana Club en el evento *China Wine and Spirits Awards 2021* (CWSA), considerada hoy una de las competencias más influyentes del mundo, y en la cual se coronó con 4 medallas. Estos resultados demuestran, una vez más, el liderazgo de Havana Club en la categoría de rones Súper Premium y Superiores, y su intención de seguir innovando para continuar siendo el auténtico Ron de Cuba. Actualmente Havana Club es la tercera marca internacional de ron a nivel mundial, a pesar de no tener acceso al mercado de los EE. UU, con más de 4 millones de cajas de 9L vendidas en el último año.

La cartera de productos que comercializa la Distribuidora Cuba Ron (DCR) en el mercado nacional abarca varias categorías dentro de los espirituosos (Miranda, 2016):

- 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) (Miranda, 2016).

Principales aspectos que han propiciado el crecimiento de las ventas de ron

Los niveles de exportación del ron cubano y su demanda han aumentado considerablemente en los últimos años, lo cual ha sido posible, entre otras causas, por el aumento de la calidad y las estrategias para reinventar nuevos productos, permitiendo la estabilidad comercial en un mercado cada vez más exigente. Estas razones posibilitan que el ron cubano exhiba una gran variedad de marcas, las que se fabrican en distintas regiones del país, todas con peculiaridades del lugar que le da origen, entre las que se destacan Havana Club, Cubay, Santiago de Cuba, Caney, Varadero, Legendario y Arecha, con una amplia carpeta de productos en los que están representados los principales tipos de rones cubanos (Martí *et al.*, 2019).

Según Miranda (2016), los principales factores que propician este aumento en los niveles de venta del ron son:

- 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

Durante más de 150 años, la producción, presencia y exportación del ron en el escenario cubano, ha constituido una actividad económica de relevante importancia. Su inigualable aroma, cristalina transparencia y refinado sabor, unida a la manera única de su fabricación, identifica mundialmente a Cuba (Marcelo, 2010).

Teniendo en cuenta lo planteado en los Lineamientos de la Política Social y Económica del Partido y la Revolución la inserción de Cuba en la economía mundial, unida a la búsqueda de la productividad y eficiencia económica, ha conducido a una reestructuración de la economía que combina la orientación hacia un ambiente de competitividad y el mantenimiento de la soberanía tecnológica, aspectos

promotores del desarrollo de procesos de obtención de rones (Partido Comunista de Cuba, 2017).

Para garantizar los crecientes niveles de demanda de esta bebida y su liderazgo, es preciso mantener la calidad de sus producciones y para ello, juega un papel fundamental el diseño y desarrollo de nuevos productos, aspecto esencial que garantiza la competitividad de los rones cubanos (Martí *et al.*, 2019).

1.2. Proceso de elaboración del ron.

Riaño (2012) plantea que se elabora a partir de la melaza, que es el líquido residual que queda luego de la cristalización del azúcar en el jugo de la caña; esta contiene alrededor de un 5 % de azúcar. Donde no hay desarrollo de la industria azucarera o se usa melaza impura, se produce un licor de baja calidad llamado *tafiá* que no se considera un verdadero ron y por ello no se exporta.

Según el mismo autor el proceso de elaboración tiene las siguientes etapas:

Fermentación:

Antes de que puedan destilarse, la melaza debe convertirse en un líquido alcohólico o «vino de caña» por medio de la fermentación. Primero se prepara una solución con un contenido aproximado de 15 % de azúcar diluyendo la melaza con agua; sin embargo, es frecuente fermentar el jugo de caña sin agregar agua siempre que el contenido natural de azúcar sea bajo.

Si se desea un ron ligero, la fermentación puede completarse en 12 horas, aunque la práctica normal es de uno o dos días. La fermentación lenta (que puede tomar hasta 12 días) produce un tipo más pesado, especialmente cuando el mosto inicial se refuerza con los residuos de destilaciones previas (*vinaza* o *dunder*) y/o las despumaciones (*limings*) que se producen en las pailas de producción del azúcar. Al completarse la fermentación, el mosto resultante tiene un contenido alcohólico entre 5 % y 9 %.

Destilación:

Se utilizan dos maneras para destilar el ron: destilación en alambique, que es la práctica más tradicional y antigua, y usualmente está reservada para la producción de rones Premium de gran complejidad y sutileza. Se vierte el mosto en una olla circular de cobre que ayuda a eliminar las impurezas, se aplica el calor y luego de alrededor de una hora el alcohol empieza a evaporarse; el vapor se transporta por un tubo a un condensador, el líquido resultante se conoce como destilado simple. Para obtener un mayor contenido alcohólico y un producto final más puro, este líquido se procesa por segunda vez produciendo así un destilado doble que puede contener hasta 85-90 % ciento de alcohol por volumen. En la actualidad, la mayoría de los rones producidos con este método de destilación se hacen a partir del destilado doble. La destilación continúa en columna permite que se destile alcohol continuamente, es el método más ampliamente usado, eficiente y económico, que produce un licor más fuerte y puro.

En ambos métodos de destilación, el licor producido es incoloro; cualquier color en el producto finalizado proviene del envejecimiento en toneles y/o de caramelo. Algunos fabricantes utilizan mezclas de licores obtenidos por los dos tipos de destilación. Esto se hace tratando de reunir en el producto comercial características de los dos tipos de filtrado.

Envejecimiento o añejamiento:

El ron absorbe taninos, sabor y color de la madera y, debido a la porosidad de la madera, permite que el ron “respire” provocando cambios oxidativos complejos en su composición química; estos cambios, denominados como maduración del ron, sirven para mejorar la calidad de la mezcla de los destilados almacenados en las barricas; durante este tiempo, el oxígeno del aire pasa por los poros de la barrica para oxidar los alcoholes en aldehídos, y los aldehídos en ácidos. A medida que pasa el tiempo, los ácidos reaccionan con los alcoholes para producir ésteres; el tiempo requerido para el envejecimiento apropiado del ron está en proporción

directa con su cuerpo. Los rones de “cuerpo fuerte” toman más tiempo para envejecer que los más ligeros.

Los rones del tipo ligero se envejecen de uno a tres años mientras que los de tipo pesado pasan un mínimo de tres años en la barrica. Con el paso de los años, el contenido se vuelve más suave, maduro, y puede envejecerse con éxito hasta por 20 años antes de empezar a perder sabor, siempre que el clima sea fresco y húmedo. En ambientes más cálidos y más secos envejece más rápidamente y raramente mejora; luego de siete años “tropicales”, siendo un año “tropical” equivalente aproximadamente a dos o tres años en climas más frescos.

En la actualidad, casi todos los rones envejecidos se maduran en barricas de roble que se usaron para envejecer whisky, aunque también se emplean barricas para coñac y vino.

Filtración:

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.

Mezclado y embotellado:

La mayoría de los rones comerciales consisten en una mezcla de rones de diferentes tipos y edades e incluso rones de diferentes países de origen, como es el caso de las marcas internacionales de grandes volúmenes. 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.

1.2.1. Materias primas fundamentales.

✓ Alcohol

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 (Cruz, 2016).

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 (Cruz, 2016).

✓ Aguardiente

Esta palabra deriva del término latín *agua ardens* con el que designaban al alcohol obtenido por medio de la destilación. Son una familia de bebidas secas o aromáticas logradas por el envejecimiento de las fracciones alcohólicas del destilado de líquidos fermentados, dentro de los que se encuentran el aguardiente de caña, aguardiente de frutas y aguardiente de semillas (Pérez, 2019).

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 (Cruz, 2016).

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 (Cruz, 2016).

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) (Cruz, 2016).

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 es el agua a la cual se le quitan los minerales y las sales. Se utiliza cuando se requiere agua con bajo contenido en sal o baja conductividad eléctrica (Palacios, 2016).

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 (Cruz, 2016).

Por otro lado, en la mayoría de los diseños de plantas de tratamiento, para la producción de agua desmineralizada o ultrapura, se encuentra una etapa inicial de pretratamiento que consta de Filtros de arena, Filtros de carbón y Suavizador. Luego está el paso de inyección de antiincrustante el cual previene el ensuciamiento por sílice, de las membranas en la osmosis inversa, y por último pasar a la etapa final del proceso de producción de agua ultrapura (Castaño y Rodríguez, 2020).

- Filtros de arena: Son unidades diseñadas para el tratamiento de aguas en aplicaciones industriales donde se requiera eliminar partículas finas, material coloidal, turbiedad, óxido de hierro, manganeso y materia orgánica en suspensión incluyendo sustancias que dan color, algas, lamas y algunos microorganismos (Edospina, 2006).



Figura 1.1: Filtro de arena con múltiples tipos de arena (STF, 2017).

- Filtro de carbón activado. Están diseñados principalmente para la remoción de olores, sabores, cloro residual y materia orgánica presentes en el agua. (Edospina, 2006).



Figura 1.2: Distintos tipos de carbón activado para el tratamiento de agua (Agua, 2016)

- Suavizador. Corresponde a una unidad de intercambio iónico, en la cual se remueve la dureza de agua libre de materia suspendida. (Edospina, 2006).



Figura 1.3: Esquema del funcionamiento del suavizador y el sistema de regeneración para salmuera para su funcionamiento (American Water Works Association, American Society of Civil Engineers 1969).

- Osmosis inversa. Se encarga de producir la desalinización del agua, remueve materia orgánica y separa contaminantes del agua, a través de membranas

semipermeables. Esta etapa de la producción de agua ultra pura requiere la garantía de una buena etapa de pretratamiento, por lo cual debe ser monitoreada durante todo el proceso. (Hidritec, 2016).

- Electrodesionización EDI. Combina electrodiálisis y un intercambio iónico. Es la última fase del proceso y se encarga de remover los iones del agua. Su ventaja es que sustituye los productos químicos necesarios para regenerar las resinas por corriente eléctrica. (García y Sanz, 2011).

1.2.2. Osmosis Inversa.

La ósmosis inversa es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas más grandes en el agua potable. Para lograr la ósmosis inversa se aplica una presión para vencer la presión osmótica, que es una propiedad coligativa producida por diferencias de potencial químico del solvente, un parámetro termodinámico. La ósmosis inversa puede eliminar muchos tipos de elementos suspendidos en el agua, incluyendo bacterias, y está utilizada tanto en procesos industriales como para la producción de agua potable. El resultado es que la disolución es retenida del lado presurizado de la membrana y el solvente puro puede pasar al otro lado. Para lograr la selectividad, esta membrana no debe dejar pasar iones o moléculas grandes a través de sus poros (o agujeros), pero debe dejar pasar libremente componentes más pequeños de la solución (como las moléculas solventes) (Panagopoulos *et al.*, 2019).

En el proceso normal de ósmosis, el solvente se mueve naturalmente de un área de baja concentración de la disolución (alto potencial hídrico), a través de una membrana, hacia un área de alta concentración de la disolución (bajo potencial hídrico). La fuerza que ocasiona el movimiento del solvente es la reducción en la energía libre del sistema cuando la diferencia en la concentración del solvente en cualquiera de los lados de una membrana es reducida, generando presión osmótica debido a que el solvente se mueve a la solución más concentrada. La ósmosis inversa es la aplicación de una presión externa para invertir el flujo natural del

solvente. El proceso es similar a otras aplicaciones de tecnología con membranas. Sin embargo, hay diferencias claves entre ósmosis inversa y filtrado. El mecanismo de extracción predominante en la filtración por membrana es la exclusión por tamaño, por lo que el proceso teóricamente puede conseguir siempre una eficacia perfecta independientemente de la presión y la concentración. La ósmosis inversa aplica difusión, haciendo que el proceso dependa de la presión, el índice de flujo y otras condiciones. Si se aplica una presión en el lado de la solución concentrada, se conseguirá reducir su flujo en la membrana; pero si se incrementa dicha presión, el flujo de agua se remitirá. A este proceso se le denomina presión osmótica. Si se aplica más presión de lo esperada por la presión osmótica el agua pasará a una solución todavía menos concentrada. De esta forma, conseguirá atravesar la membrana al ser más diluida. La ósmosis inversa generalmente se utiliza para la purificación de agua potable a partir de agua de mar, extrayendo la sal y otros efluentes de las moléculas de agua (Crittenden *et al.*, 2005). Las membranas en enrollada en modulo espiral son las más utilizadas ya que se puede obtener mayor cantidad de permeado, esta configuración se muestra en la figura 1.4, en la figura 1.5 se puede observar la disposición en forma de modulo tubular.

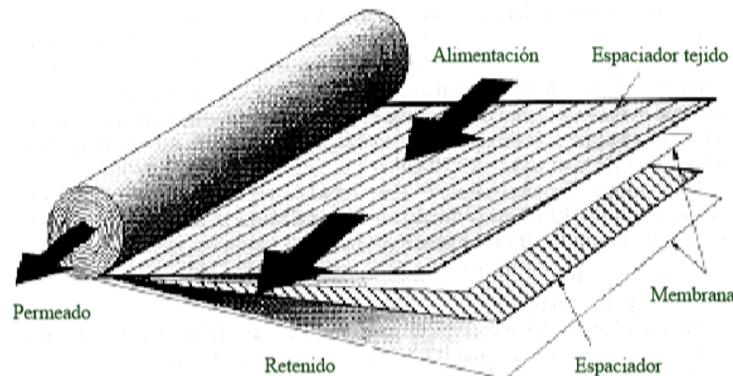


Figura 1.4: Módulo de hoja en espiral de las Membranas (Ramos, 2017).

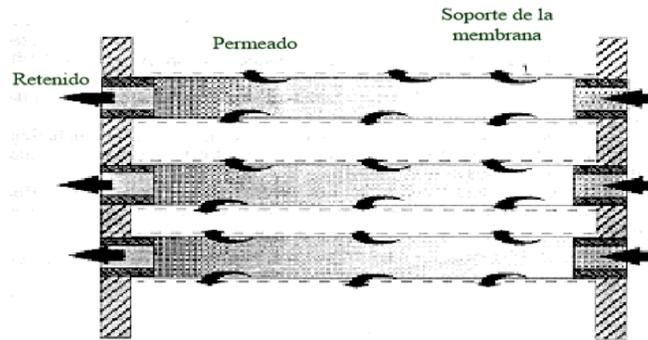


Figura 1.5: Módulo Tubular de las Membranas (Ramos, 2017).

1.2.3. Normas de calidad cubanas.

Las normas de calidad cubanas para la selección de materias primas y producción del ron se basan en lo estipulado en la resolución No. 12 del 2019 del Ministerio de la Industria Alimentaria, publicada en la Gaceta Oficial de la República No. 18, el 5 de marzo de ese mismo año, y se puede ver en el anexo 1. Aunque existen otras normas cubanas que rigen algunos indicadores imprescindibles a tener presentes en la elaboración del ron, como es el caso de la norma que registra como debe ser el proceso de etiquetado de los envases.

1.2.4. Impurezas en las bebidas alcohólicas.

La presencia de otros compuestos que no son etanol ni agua son precisamente las sustancias llamadas impurezas, que tienen su origen fundamentalmente como coproductos de la fermentación, o provenientes de la materia prima, como acompañantes o formados durante el proceso de separación y purificación (Borroto *et al.*, 2017).

Puede tenerse idea de la variedad de impurezas que se consideran en la caracterización de los alcoholes, observando las referencias internacionales de los alcoholes finos (neutros) o rectificadas (industriales) según la NC-792:2015, entre ellas se pueden distinguir las especies correspondientes a familias químicas como son:

- Los alcoholes superiores: Por definición los que poseen más carbonos que el etanol, los más significativos son: propanoles, butanoles y pentanoles con sus isómeros más comunes. Están determinados oficialmente por la NC-535: 2007.
- Los aldehídos: Son los compuestos de mayor volatilidad presentes, destacándose el acetaldehído y los acetales (dietilacetal, 1,1-dietoxietano). Están determinados oficialmente por la NC-508: 2011 y NC-519: 2007.
- Los ésteres: Se originan básicamente mediante la reacción de esterificación entre un ácido orgánico y un alcohol. Su importancia radica en su contribución decisiva a las propiedades organolépticas del alcohol etílico destilado. El procedimiento de destilación actúa en forma correspondiente con la de un reactor de esterificación, por ello los sistemas de destilación en sí se comportan como esterificadores. Su determinación también se encuentra dentro de las normas oficiales NC-508: 2011, NC-520: 2007 y NC-534: 2007.
- Metanol: En todos los alcoholes potables la determinación de este compuesto es solicitada, dada su toxicidad. Su presencia es muy pronunciada en el alcohol sintético y en aquellos naturales procedentes de fermentaciones de sustancias con alto contenido en pectinas, como las frutas y algunos granos. Su presencia en alcoholes de caña es muy baja. Se determina químicamente por el método de la fucsina (Reactivo de Schiff) (Vázquez *et al.*, 2012) aunque también ha sido popular por el método del ácido cromotrópico. Hoy han sido suplantadas estas técnicas por la cromatografía gaseosa (Cordovés, 2014).
- Carbamato de etilo: En los últimos años han aparecido algunas regulaciones en países como Canadá y Suiza que han establecido valores máximos para esta especie en bebidas destiladas de 150 g/L (ppm) (Lachenmeier, 2010). Por otra parte, la Unión Europea hasta ahora no ha emitido norma sobre el carbamato de etilo, pero ha publicado recomendaciones oficiales. En Brasil se vienen realizando investigaciones sobre los valores encontrados en los

aguardientes de caña (cachaza) y de yuca de este compuesto (Ho y Eun, 2012).

1.3. Carbón activado. Generalidades, empleo y aplicaciones.

El carbón activado es uno de los materiales adsorbentes más conocido y utilizado gracias a sus increíbles propiedades, como lo son su gran área superficial, su gran porosidad caracterizada por su volumen de poro, diámetro de poro, grupos funcionales y las propiedades electroestáticas que estos tienen por su química superficial y cristalinidad, presentan un acomodo semejante al del grafito (González, 2017). Teniendo una amplia gama de aplicaciones donde estos se han utilizado en los tratamientos de aguas y eliminación de contaminantes en soluciones acuosas, separación y purificación en fases gaseosas, almacenamiento de energía, supercondensadores, productos farmacéuticos y de cuidado personal (Üner y Bayrak, 2018).

El carbón activado se puede obtener a partir de diversas materias primas, las cuales deben de contar con una activación previa. Estos procesos de activación se han aplicado ampliamente a los precursores de tipo biomasa, sobre los cuales se han realizado diversos estudios científicos gracias al hecho de poder obtener un CA de manera sustentable (Ayodele *et al.*, 2020).

Y es esta amplia gama de carbón activado basado en su precursor, lo que lo vuelve muy variado al momento de seleccionarlo para su aplicación, debido a que pueden presentar propiedades diferentes, siendo las más notorias al momento de comparar varios CA: la porosidad, la composición química superficial, el contenido de cenizas y el área superficial. Para poder emplearlo en cierto proceso debe de contar con la afinidad necesaria, para ello debe planificarse la síntesis del mismo, su proceso de activación y las posibles modificaciones que se deban otorgar para poder satisfacer dicha aplicación (Ioannidou y Zabaniotou, 2007).

Este material cuenta con un vasto campo de estudio en la adsorción de compuestos nocivos en fase líquida y gaseosa (Ugwu y Agunwamba 2020; Reza *et al.*, 2020), pero además puede utilizarse en biomedicina (Bacakova *et al.*, 2020; Viquez, 2015:

Tang *et al.*, 2019) o como soporte de partículas (Zhang y Wang, 2019; Hoang *et al.*, 2019), para almacenar energía (Ayinla *et al.*, 2019; Rustam *et al.*, 2019), como catalizadores (Mousavi *et al.*, 2020) y como transporte de fármacos (Ávila *et al.*, 2020) por mencionar algunas de sus aplicaciones.

Este material puede llegar a presentarse en diferentes tipos de presentaciones, las cuales son el carbón activado granular (CAG), las fibras de carbón activado (FCA), las telas de carbón activado (TCA) y los nanotubos de carbón activado (NTC) (Huang, 2009), entre otros. Se obtienen mediante una pirolisis de un sustrato orgánico, el cual es sometido a un lavado en ácido y finalmente a una activación (Cabrera, 2019).

Sus aplicaciones en usos ambientales abarcan desde las soluciones acuosas hasta las gaseosas, teniendo en este rubro mucha importancia en la adsorción que contaminantes en el agua gracias a sus propiedades superficiales tanto físicas (porosidad y área superficial) como químicas (grupos superficiales) las cuales favorecen la adsorción de contaminantes (Rodríguez *et al.*, 2019; Kalaruban *et al.*, 2019; Alahabadi *et al.*, 2020).

1.3.1. 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 (Cruz, 2016).

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 mg/Ly contenido de esteres 20 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 (Cruz, 2016).

1.3.2. Formas de aplicación del carbón activado.

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 (Cruz, 2016):

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.

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 (Cruz, 2016).

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 (Cruz, 2016).

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 (Cruz, 2016).

Conclusiones parciales del capítulo.

Como resultado del análisis bibliográfico se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. El ron es una bebida alcohólica muy antigua y se produce en diversos países en los que se destaca Cuba por su calidad y diversidad de productos.
2. Las materias primas principales utilizadas son agua desmineralizada, alcohol y aguardiente, estos dos últimos, obtenidos, exclusivamente, por destilación de mostos fermentados de los jugos y melazas de la fabricación de azúcar de caña, en Cuba. Varias fábricas en el país, elaboran el ron a partir de rones bases (formados por la mezcla de aguardiente añejado y alcohol) y agua desmineralizada.
3. La Resolución 12 del Ministerio de la Industria Alimentaria, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Cuba, No. 18 del 5 de marzo del 2019, es el documento oficial que regula las características de las materias primas, procesos, normas cubanas a emplear y tipos de rones que se pueden producir y comercializar en Cuba y en el mundo.
4. Los principales procesos para la elaboración del ron, a partir de bases añejadas son el mezclado, la filtración, el añejamiento, tratamiento con carbón activado y el envasado.
5. Las propiedades organolépticas de los rones se afectan por la presencia de algunas impurezas como carbamato de etilo, alcoholes superiores y componentes volátiles mayoritarios.
6. El agua a utilizar en la elaboración de rones debe ser desmineralizada o suavizada para lograr obtener buenas propiedades organolépticas en esta bebida.

Capítulo 2 Materiales y Métodos

En este capítulo se describe el proceso de producción de ron en la empresa Ron Yucayo, se realiza un diagnóstico técnico y operacional de la empresa. Se caracterizan las materias primas, y se seleccionan las mejores propuestas de producción. Se realizan los balances de masa necesarios para el diseño de los principales equipos. Se propone el diseño de un sistema de flujo de fluidos y se plantea la metodología para el análisis económico de las mejoras tecnológicas propuestas para la producción de los nuevos rones.

2.1 Caracterización del proceso de elaboración de ron en la empresa Ron Yucayo.

La empresa para la elaboración del ron recibe la materia prima, alcohol y aguardiente de diferentes abastecedores pertenecientes a Cuba Ron S. A, el azúcar se compra a los centrales azucareros de la provincia y el agua a la empresa de acueducto de Matanzas. Estas materias primas son almacenadas para su posterior utilización en tanques de acero al carbono estructural. Luego se preparan los rones bases, mezclando estas materias primas, y se transportan a través de mangueras hacia los barriles de roble blanco para realizar un proceso de añejamiento, en un montaje específico llamado soleras gallegas. El transporte de las materias primas hacia el tanque de mezclado se realiza a través de mangueras. El proceso de mezclado se realiza por la inyección de aire en el seno del fluido, en el anexo 2 se muestra el tanque con el compresor utilizado para la inyección de aire. Dependiendo del tipo de ron que se vaya a producir se utilizan los rones bases con sus respectivo tiempo de añejamiento, como por ejemplo para los Refinos se utilizan rones bases de 6 meses de añejamiento, para los Carta se utilizan los de 8 meses, para los Dorados rones de 1 a 3 años de añejamiento y para los Añejos se utilizan rones bases de 3 a 7 años de añejamiento. Para la fabricación de rones para el consumo primeramente controlan la calidad del agua mediante la determinación de su dureza en el laboratorio mediante los métodos colorimétricos o por el método del jabón. A continuación se mezclan los rones bases añejados según la formulación del tipo de ron que se vaya a producir y se le realiza un muestreo para determinar el grado

alcohólico, a través de lo estipulado en la NC 290 del 2007 y la acidez según NC 291 del 2011. Después a esta mezcla se le da un tiempo de reposo para su posterior filtración, en la cual se eliminan partículas en suspensión y permite darle brillo al producto final. Luego de este proceso el ron es bombeado a través de una tubería aérea de acero inoxidable hacia un tanque surtidor de acero inoxidable, con capacidad de 2 000 L y de ahí hacia la embotelladora. El lavado de las botellas se realiza de forma manual porque la lavadora mecánica esta averiada. Luego de llenada las botellas son inspeccionadas para determinar si no existen riesgos físicos tales como posibilidad de vidrios en su interior, etc., y se realiza un muestreo para corroborar los resultados obtenidos anteriormente de grado alcohólico y acidez. Después de tapadas y etiquetadas las botellas se realizar un análisis físico para saber si contienen la cantidad de mL, según la altura de llenado y un análisis organoléptico para garantizar la calidad del producto final. De ahí son trasladadas al proceso de empaque que puede ser con películas retráctil o cajas de cartón onduladas, antes de este paso. Al concluir esta etapa el ron es almacenado y distribuido hacia los principales destinos como el turismo, gastronomía y cooperativas no agropecuarias con servicio a la gastronomía. El proceso descrito se encuentra en el anexo 3.

2.1.1 Diagnóstico técnico y operacional de la empresa Ron Yucayo.

La empresa Ron Yucayo de Matanzas cuenta con una tecnología obsoleta del año 1926, a la cual no se le han realizado reparaciones capitales y presenta frecuentemente salideros por roturas en las mangueras, deterioro en válvulas, y barriles de añejamiento. El proceso se controla de forma manual. El intercambiador Aniónico y Catiónico (Combinado) para la desmineralización del agua está fuera de servicio debido a que se encuentra incompleto para su correcto funcionamiento además de estar sin mantenimiento hace bastante tiempo, lo cual impide la desmineralización completa del agua, que es la adecuada para la elaboración de un ron de calidad. Tienen instalado un suavizador de agua con limitada capacidad. Presentan un sistema ineficiente de mezclado de las materias primas. No miden a las materias primas y al ron obtenido todos los parámetros exigidos por la

Resolución 12 del MINAL para su uso y comercialización respectivamente. Demora en el transporte de los fluidos desde los tanques de almacenamiento hacia el mezclador y del mezclador hacia los barriles de añejamiento por realizarse a través de mangueras. Para el añejamiento del ron base cuentan con poca capacidad de añejamiento (barriles de roble blanco). Existe poca iluminación en las áreas de producción. Paredes y pisos en mal estado constructivo. El tanque mezclador y surtidor tienen una capacidad reducida de 2 000 L, inferior a la requerida (4 200 L). Presentan poca productividad en el área de lavado de botellas debido a que se realiza de forma manual. La etiquetadora es mecánica pero no es moderna y carece de piezas de repuesto, por lo cual presenta roturas con frecuencia. No se cuenta con báscula para el control del peso de las cajas, ni con un sistema automatizado para el control del proceso de embotellado de rones y los montacargas están en mal estado. Todos los controles en el proceso carecen de automatización y se realizan a percepción y no a exactitud. Insuficientes medios informáticos como computadoras e impresoras, no se cuenta con un sistema de detección y extinción de incendios.

En este trabajo se propondrán mejoras, a través del diseño de equipos para el trasiego y bombeo de fluidos, mejoras en el proceso de filtración del ron y para el tratamiento del agua a utilizar en el proceso.

2.2 Materias primas para la elaboración de nuevos rones.

Cabe aclarar que para la elaboración de cualquier tipo de ron cubano es imprescindible emplear como materia prima aguardiente de caña añejado, alcohol y agua desmineralizada, que según su proporción y tiempo de añejamiento será la clasificación del ron obtenido, según Resolución 12 de 2019 del Ministerio de la Industria Alimentaria.

Con el propósito de obtener rones nuevos, a partir de materias primas disponibles en la provincia de Matanzas, especialistas de la planta de Bebidas Alcohólicas de la Universidad de Matanzas en colaboración con la Empresa Havana Club S.A.

caracterizaron química y sensorialmente cuatro mezclas de bases añejadas. Las bases estudiadas son:

Tipos de bases (rones bases):

- Aguardiente 1 año
- Muestra A: Mezcla de alcohol + aguardiente con 5 años de añejamiento (base blanca 5 años).
- Muestra B: Mezcla de alcohol + aguardiente con 1 año de añejamiento (base blanca 1 año).
- Muestra C: Mezcla de alcohol + aguardiente con 1 año de añejamiento + Cebada Malteada (base blanca 1 año + Malta).

2.3 Caracterización química de las materias primas.

La calidad del ron que se obtiene depende de la calidad de las materias primas que se emplean para su producción. Por lo cual se propone realizar una caracterización físico-química del alcohol y las cuatro bases a emplear para la obtención de las nuevas formulaciones de ron. La composición de estas materias primas debe cumplir con lo establecido en la Resolución No. 12 del 2019 del Ministerio de la Industria Alimentaria, publicada en la Gaceta Oficial de la República de Cuba No. 18, del 5 de marzo del 2019, ver anexo 1. Según esta resolución se debe controlar en las materias primas y rones bases obtenidos el grado alcohólico, acidez e impurezas (Carbamato de Etilo, componentes volátiles mayoritarios y alcoholes superiores).

A los rones bases en estudio, además, se les realizará un análisis sensorial (determinación de olor, sabor y color), teniendo en cuenta lo estipulado por la resolución 12. Todas las caracterizaciones se desarrollaran en el Laboratorio de Ensayo Acreditado (Reg. No.131), ubicado en la Ronera San José perteneciente a la Empresa Havana Club S. A, ubicado en el municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque.

1. Determinación del grado alcohólico

La determinación se realiza basándose en lo recomendado por la norma cubana NC 290: 2007.

Fundamento del método

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

Materiales utilizados:

- Matraz aforado de 250 mL
- Balón de destilación de 1000 mL
- Condensador de espiral o serpentín 400 mm
- Trampa de vapor
- Quemador bunsen
- Probeta de 300 mL
- Alcoholímetro con escala en por ciento en volumen graduado en 0,1 % alcohol en volumen y referido a 20 °C
- Termómetro con escala de 0 °C a 50 °C (0 K a 323 K), con división mínima no mayor a 0,5 °C.

Reactivos:

Solución de hidróxido de sodio 6 mol/L

2. Determinación de la acidez.

La determinación de la acidez se desarrolla teniendo en cuenta lo estipulado en la NC: 291 del 2011, todos los pasos, reactivos y equipos a utilizar están presentes en esta norma.

3. Determinación de Carbamato de etilo

Este compuesto se considera una impureza para el ron y se acepta hasta una concentración de 150 g/l (ppm). Las técnicas que se emplean son la Cromatografía de Gases acoplada a Espectrómetros de Masa y la Cromatografía Líquida (LC). Se basan en lo planteado en la NC: 535/2007.

4. Determinación de alcoholes superiores

Se determinan oficialmente por la norma cubana NC: 535/2007.

Fundamento del método

Se basa en la determinación del contenido de los alcoholes superiores isobutílico e isoamílico, por medio de la reacción con una solución de p-dimetil amino benzaldehído (p-DMAB) en medio ácido.

La intensidad del complejo formado, se determina por espectrofotometría a una longitud de onda de 540 nm.

Aparatos, equipos y medios de medición:

- Espectrofotómetro apto para trabajar a una longitud de onda de 540 nm.
- Criostato o baño de hielo que garantice una temperatura inferior a 10 °C.
- Frascos volumétricos de 100 mL y 1000 mL.
- Pipetas volumétricas de 1mL ,2mL, 5mL y 10 ml.
- Bureta de 10 mL graduada en 0,1 mL.
- Tubo de ensayo con tapa de rosca o esmerilada de preferencia 15mL x 150 ml.
- Balanza analítica con precisión de 0.0001 g

La concentración de alcoholes superiores en la muestra, expresado en gramos / 100 Litros de alcohol absoluto, se obtiene usando la fórmula:

$$C_a = C_m \cdot \frac{100}{H} \quad 2.1$$

Donde:

C_m : Concentración de alcoholes superiores en gramos / 100 Litros.

H: Concentración alcohólica de la muestra.

Las calibraciones para obtener las ecuaciones deberán repetirse cada vez que se agote la solución de p-dimetil amino benzaldehído.

5. Determinación de componentes volátiles mayoritarios

La cuantificación de los componentes volátiles mayoritarios se realiza a partir de las técnicas Cromatografía gaseosa y Espectrometría de Masa, según técnica descrita en la norma cubana NC: 508/2011 y NC: 519/2007. Se pueden determinar por estos métodos, los siguientes compuestos:

- Acetato de etilo
- Acetaldehído
- Acetal

2.4 Selección de los rones base.

La selección de los rones bases a emplear para la elaboración de nuevos rones se hace a partir de los resultados obtenidos de la caracterización química y sensorial de estas bases, y sugerencias de formulaciones realizadas por el maestro ronero Ing. Asbel Morales, de la Ronera San José.

Análisis sensorial de las bases:

- Aguardiente 1 año de añejamiento

Según valoración sensorial este aguardiente presenta tipicidad para la fabricación de ron

Color: ámbar ligero

Olor: característico que recuerda la melaza de caña.

Sabor: ligeramente afrutado, típico de un aguardiente cubano de 1 año de añejamiento en barriles de roble blanco.

Según esta valoración se consideró que se puede fabricar un tipo de ron ligero cubano, pero para ello se hace necesario una purificación con carbón activado preferiblemente granulado, para eliminar algunos congéneres no deseados que no favorecen un aroma y sabor suave (eliminar el sabor aguardientado).

- Base blanca 1 año

Color: ámbar ligero

Olor: característico que recuerda al aguardiente que le dio origen.

Sabor: añejamiento ligero, suave con poco aporte de la madera y recuerdos del aguardiente de origen.

Con esta base se puede proponer fabricar un ron Carta Blanca o añejo ambarino

Propuesta de formulación:

	% en vol.
▪ Base blanca 1 año.....	66,67
▪ Agua desmineralizada.....	33,33

Grado final: 40% alc.v/v

- Base 5 años

Color: ámbar oscuro

Olor: con presencia del añejamiento, amaderado y notas dulces.

Sabor: añejamiento marcado por la madera, ligero dulzón en boca con poco retrogusto.

Con esta base y en mezcla con la base blanca de 1 año se propuso fabricar un ron añejo oscuro o añejo.

Propuesta de formulación:

	% en vol.
▪ Base blanca 5 años.....	46,64
▪ Base blanca 1 año.....	20,06
▪ Agua desmineralizada.....	33,3

Ajustar color con color caramelo de ser necesario.

Grado final: 40% alc.v/v

- Base 1 año + Malta (B + Malta)

Color: ámbar a ámbar oscuro

Olor: nota ligera ahumada con añejamiento suave y ligeramente aguardientado, notas dulces.

Sabor: entrada dulce en boca con cuerpo y aguardientado.

Con esta base no se puede obtener un ron de calidad superior ya que no se permite la adición de componentes que modifiquen o simulen los valores sensoriales logrados a través de un añejamiento natural según la Resolución 12 del MINAL, por lo que no se clasifica como ron sino que se puede obtener un espirituoso oscuro en mezcla con el ron base A y B. Ajustar con color caramelo de ser necesario. La formulación sería:

Propuesta de formulación:

	% en vol.
▪ Base blanca 1 año (B).....	40,06
▪ Base blanca 5 años (A).....	8,00
▪ Base 1 año + Malta (B + Malta).....	18,66
▪ Agua desmineralizada.....	33,28

Grado final: 40% alc.v/v

Resultados obtenidos de la caracterización química

En la tabla 2.1 y 2.2 se muestran los resultados de la caracterización química realizada al alcohol y los rones bases.

Tabla 2.1: Caracterización química del alcohol y del Aguardiente con 1 año de añejamiento.

Compuesto	Alcohol	Aguardiente 1 año
Grado alcohólico aparente, (% alcohólico en vol. a 20°C) ± U	95,4 ± 0,19	65,41 ± 0,13
Carbamato de etilo (ppb) ± U	2 ± 0,07	832 ± 30
Acetaldehído (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	5,08 ± 0,14
Acetato de etilo (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	10,45 ± 0,26
Acetal (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	9,17 ± 0,28
Metanol (g/100L a. a.) ± U	2,78±0,31	4,68 ± 0,51
2-butanol (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	0,26 ± 0,004
1-propanol (g/100L a. a.) ± U	1,94 ± 0,03	48,88 ± 1,32
Isobutanol (g/100L a. a.) ± U	0,18 ± 0,005	93,4 ± 2,52
1-butanol (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	0,72 ± 0,01
2-metil-1-butanol (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	41,34 ± 0,45
3-metil-1-butanol (g/100L a. a.) ± U	0,00 ± 0,00	170,98 ± 1,88
Suma de alcoholes superiores	2,12	355,57

Fuente: Elaboración propia

Como se observa el alcohol cumple con el grado alcohólico aparente establecido por la Resolución 12 del MINAL (% de alcohol en volumen a 20°C, mayor de 94,4

% y menor de 96 %), ya que es de $95,4 \pm 0,19$, por lo que su utilización en la elaboración de las mezclas de ron bases fue correcta.

El aguardiente con 1 año de añejamiento no cumple con el grado alcohólico aparente (74-76 % de alcohol en volumen, después de una etapa de añejamiento) y si con la suma de los alcoholes superiores establecida por esta resolución (200-400 g/Hl a. a) que es de 355,57 g/Hl a. a. Al no cumplir con el grado alcohólico pero si poseer un contenido de impurezas en el intervalo establecido puede ser utilizado en mezclas de rones bases para elaborar nuevos tipos de rones.

El contenido de los alcoholes superiores en el aguardiente se puede observar en el anexo 4.

Tabla 2.2: Caracterización química de los rones base blanca 5 años, 1 año y base 1 año + Malta.

Compuesto	Base 5 años	Base 1 año	Base 1 año + Malta
Grado alcohólico , (% alcohólico en vol. a 20°C) $\pm U$	$53,60 \pm 0,11$	$58,72 \pm 0,12$	$58,41 \pm 0,12$
Carbamato de etilo (ppb) $\pm U$	267 ± 10	53 ± 2	50 ± 2
Acetaldehído (g/100L a. a.) $\pm U$	$7,86 \pm 0,22$	$1,31 \pm 0,04$	$1,4 \pm 0,04$
Acetato de etilo (g/100L a. a.) $\pm U$	$70,9 \pm 1,77$	$8,09 \pm 0,20$	$7,93 \pm 0,20$
Acetal (g/100L a. a.) $\pm U$	$8,28 \pm 0,19$	$1,47 \pm 0,03$	$1,47 \pm 0,03$
Metanol (g/100L a. a.) $\pm U$	$10,94 \pm 0,36$	$4,03 \pm 0,13$	$4,35 \pm 0,14$
2-butanol (g/100L a. a.) $\pm U$	$0,00 \pm 0,00$	$2,18 \pm 0,03$	$2,55 \pm 0,04$
1-propanol (g/100L a. a.) $\pm U$	$23,68 \pm 0,66$	$14,34 \pm 0,40$	$14,55 \pm 0,41$
Isobutanol (g/100L a. a.) $\pm U$	$30,9 \pm 0,83$	$14,7 \pm 0,40$	$14,22 \pm 0,38$

1-butanol (g/100L a. a.) ± U	0,23 ± 0,003	0,17 ± 0,002	0,14± 0,002
2-metil-1-butanol (g/100L a. a.) ± U	14,78 ± 0,18	6,56 ± 0,08	6,55 ± 0,08
3-metil-1-butanol (g/100L a. a.) ± U	62,3 ± 0,69	26,04 ± 0,29	26,13± 0,29
Suma de alcoholes superiores (g/100L a. a.) ± U	131,90	63,99	64,14

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los tres rones bases cumplen con el grado alcohólico absoluto después de la segunda etapa de añejamiento, según la Resolución 12 del MINAL, que es de un 40-60% en volumen y con bajos valores de la suma de alcoholes superiores, por lo cual se pueden utilizar en la elaboración de rones. Sin embargo, el ron base de 1 año más Malta no puede ser utilizado para la elaboración de rones porque por la Resolución 12 del MINAL no se autoriza el empleo de la malta como aditivo para la elaboración de estas bebidas.

Los cromatogramas de estas bases se pueden observar en los anexos 5, 6 y 7.

Teniendo en cuenta estos resultados y las propuestas del maestro ronero se escogen como mejores opciones elaborar dos nuevos rones: Carta Blanca a partir del ron base de 1 año con agua desmineralizada y un ron Añejo a partir de la mezcla de ron base de 1 año, 5 años y agua desmineralizada, siguiendo las formulaciones recomendadas.

2.5 Balances de Masa.

La empresa comercializadora de bebidas y refrescos de matanzas a través de un estudio de mercado de ron en esta provincia determinó que existe una demanda de

500 cajas al día de este producto por lo que es imprescindible esta producción para satisfacer dicha demanda.

Cabe aclarar que de las propuestas antes expuestas las que cumplen con las normas establecidas por la Resolución No. 12 del 2019 son la que contiene base de 1 año y agua desmineralizada y la que presenta base de 1 año, de 5 años y agua desmineralizada.

A partir de esta información se plantean los siguientes balances de masa considerando este proceso discontinuo y que cada caja contiene 12 botellas de 700 mL, para un flujo total de 4 200 litros por día:

Balance de masa para el ron propuesto 1 a partir de la base blanca de 1 año y agua desmineralizada:

$$F_{ron\ 1} = F_{bb1año} + F_{agua} \quad 2.2$$

Donde:

$F_{ron\ 1}$: Flujo del ron compuesto por la base blanca de 1 año y agua desmineralizada (L/d)

$F_{bb1año}$: Flujo de base blanca de 1 año para el ron 1 (L/d)

F_{agua} : Flujo de agua desmineralizada (L/d)

Balance de masa por componentes:

$$F_{bb1año} = F_{ron\ 1} \cdot X_{BB1año} \quad 2.3$$

Donde:

$X_{BB1año}$: Composición de la base blanca de 1 año (% en vol.)

$$F_{agua} = F_{ron 1} \cdot X_{agua} \quad 2.4$$

Donde:

X_{agua} : Composición del agua desmineralizada (% en vol.)

Balance de masa para el ron propuesto 2 a partir de la mezcla de base blanca de 1 año, de 5 años y agua desmineralizada:

$$F_{ron 2} = F_{bb1año} + F_{bb5años} + F_{agua} \quad 2.5$$

Donde:

$F_{ron 2}$: Flujo del ron compuesto por la base blanca de 1 año por la de 5 años y por agua desmineralizada (L/d)

$F_{bb1año}$: Flujo de base blanca de 1 año para el ron 2 (L/d)

$F_{bb5años}$: Flujo de base blanca de 5 años (L/d)

F_{agua} : Flujo de agua para el ron 2 (L/d)

Balance de masa por componentes:

$$F_{bb1año} = F_{ron 2} \cdot X_{BB1año} \quad 2.6$$

Donde:

$X_{BB1año}$: Composición de la base blanca de 1 año para el ron 2 (% en vol.)

$$F_{bb5años} = F_{ron 2} \cdot X_{BB5años} \quad 2.7$$

Donde:

$X_{BB5año}$: Composición de la base blanca de 5 años (% en vol.)

$$F_{agua} = F_{ron 2} \cdot X_{agua} \quad 2.8$$

Donde:

X_{agua} : Composición del agua desmineralizada para el ron 2 (% en vol.)

2.6 Diseño de Equipos.

Para el diseño de los equipos de una planta se tiene en cuenta el material de construcción del que se fabricaran los mismos. Para ello se analizan parámetros como la corrosión provocada por las sustancias presentes a lo largo del proceso de producción, las condiciones de trabajo (temperatura y presión), el costo y disponibilidad del material a emplear.

Las normas para el diseño de tanques y los materiales de apoyo para el mismo a utilizar son las heurísticas:

- Selección de materiales: Tabla 2.10 de Turton
- Tiempo de cobertura para los tanques de almacenamiento: Heurística 6 de la tabla 9.7 de Turton
- Relación longitud o altura al diámetro del tanque: Heurística 4 tabla 9.6 de Turton.
- Coeficiente de llenado: Heurística 5 de la tabla 9.7 de Turton.
- Posición de los tanques: Heurística 3 de la tabla 9.7 de Turton.

En el caso de la producción de ron tenemos equipos indispensables como es el caso de los tanques de almacenamiento de las materias primas, mezclador de los rones bases, surtidor de producto, tanque para el almacenamiento del agua suavizada que suministra al módulo de osmosis inversa, además de la utilización de filtros prensa para lograr la brillantez del ron.

2.6.1 Diseño de los tanques de almacenamiento para materias primas y producto.

Luego de seleccionado el material de construcción se realiza el dimensionamiento de los tanques teniendo en cuenta el volumen a almacenar por lote de producción (1 lote por día de 4 200 L de ron). Se recomienda el uso de un tanque vertical según la heurística 3 de la Tabla 9.7 del Turton si el valor del volumen es superior a 38 m³.

El volumen de un tanque se obtiene por la ecuación:

$$V = q \cdot t / Coef \quad 2.9$$

Donde:

q: Flujo volumetrico (m³/h)

t: Tiempo de cobertura de fluido, para tanques de almacenamiento

Coef: Coeficiente de llenado

Para determinar las dimensiones del tanque, en el caso de la altura al diámetro del tanque recomendada es de 3 m según se recoge en la heurística 4 de la tabla 9.6 de Turton. Por lo tanto el diámetro del tanque se calcula por la expresión:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{9\pi}} \quad 2.10$$

2.6.2 Mejoras en el sistema de tratamiento de agua para la producción de ron.

Según Namuche (2018), el proceso de OI permite obtener un agua desmineralizada de alta calidad debido a la selectividad de las membranas que se emplean. Sin embargo experimentan un fenómeno indeseado llamado polarización por

concentración que no es más que el ensuciamiento de la cara activa de la membrana por donde penetra el permeado, constituyendo una resistencia al paso del fluido. Por lo que se hace necesario procesos previos de filtración que contribuyan a disminuir impurezas físicas presentes en el agua, teniendo en cuenta esto se hace necesario el uso de filtros de arena para la eliminación de sólidos en suspensión, filtro de carbón activado para la eliminación de olores y colores indeseables y el suavizador para la disminución de la concentración de aniones y cationes presentes en el agua.

A la hora del diseño de la planta de tratamiento de agua de osmosis inversa, se hace necesario tener un conocimiento de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua a tratar (ver anexo 8) y de algunas herramientas matemáticas básicas, para comprender la obtención de las medidas reales de los tanques, ya sea su diámetro, volumen, volumen de los lechos, alturas, entre otros.

En los procesos de ósmosis inversa se utilizan membranas densas, anisótropas, en configuraciones del tipo módulos enrollados en espiral, de 20 cm a 30 cm de diámetro y 100 a 150 cm de largo; que se disponen en número de 5 a 7 en el interior de carcasas de plástico reforzadas con fibra de vidrio. También se utilizan membranas del tipo fibra hueca, de 100 mm de diámetro, dispuestas en módulos que contienen 1000 unidades. La selección de las membranas dependerá del tipo de agua que se quiere tratar, la composición química y la cantidad de permeado que se desea obtener al pasar el agua concentrada por el proceso de ósmosis inversa. Algunos materiales de construcción de las membranas, su coeficiente de rechazo así como las presiones de trabajo están en el anexo 9.

Diseño de pre tratamiento de agua cruda

En el pre tratamiento de agua cruda interviene varios factores imprescindibles para este proceso como son el filtro de arena, el filtro de carbón activado y el suavizador de agua.

Para realizar el cálculo para la filtración de arena es necesario seguir una metodología:

1. Cálculo del área de filtrado empleando la ecuación:

$$Q = A \cdot V_f \quad 2.11$$

Donde:

Q: Caudal

V_f : Velocidad final

A: Área

2. Cálculo del diámetro requerido:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad 2.12$$

Donde:

A: Área de filtrado.

D: Velocidad de filtración.

D: Diámetro del tanque de filtración.

3. Volumen del lecho:

$$V_l = h \cdot A \quad 2.13$$

Donde:

V_l : Volumen del lecho

h: Altura del lecho

A: Área de filtrado

4. Altura del tanque:

Para los tanques con lecho es necesario como mínimo un lecho de 16" para el correcto funcionamiento del filtro.

5. Determinación del retrolavado:

El agua cruda ingresa al filtro de cuarzo que contiene dióxido de silicio o cuarzo de diferentes granulometrías (1/16" ,1/32" , 1/64")

En la fase de retrolavado, se invierte el flujo del agua para quitar la suciedad del tanque. Durante el proceso de retrolavado el sistema envía al drenaje aquellas impurezas retenidas durante el funcionamiento del sistema.

El enjuague rápido se realiza una vez finalizado el retrolavado. Una vez terminada las etapas de limpieza manual, disponer las válvulas en servicio para la producción de agua filtrada.

Cálculo del retrolavado en forma manual:

$$R = A \cdot 16,98 \qquad 2.14$$

Donde:

A: Área del tanque

Filtro de carbón activo

Filtro Manual que se utiliza como complemento al filtro de cuarzo, cuya función es remover principalmente compuestos orgánicos, malos olores y sabores indeseables provenientes del agua fuente, mediante un lecho de carbón activado granulado.

1. Área del tanque de filtro de carbón: Se emplea la ecuación 2.11.
2. Cálculo del diámetro requerido: Mediante la ecuación 2.12.
3. Volumen del lecho: Utilizando la ecuación 2.13

Suavizador de agua

Para el diseño correcto del suavizador se deben tener presentes algunas características del agua cruda a tratar como la dureza, además del caudal que se es suministrado al equipo.

Los suavizadores utilizan una resina catiónica, previamente cargada con sodio para intercambiar por calcio, magnesio y otros cationes. La resina catiónica, es un medio granular con esferas sintéticas de entre 0,3 y 1,2 mm de diámetro.

Tabla 2.3: Especificaciones técnicas de Suavizadores.

Capacidad de intercambio	Volumen de resina (ft^3)	Flujo máx. de servicio (gpm)	Ablandador DxH (pulg)	Consumo de sal regenerante(kg)
25 000	1	6	9x40	5
37 500	1,5	6	9x48	7,5
62 500	2	10	12x48	10
75 000	3	12	14x48	15

Fuente: *Elaboración propia.*

El volumen de resina se calcula:

$$V_r = \frac{g}{C} \quad 2.15$$

Donde:

g: Cantidad de granos por cantidad de agua q se necesita

C: Constante de resinas

Área de la resina se calcula:

$$A_r = \frac{V_r}{h_r} \quad 2.16$$

Donde:

h_r : Altura de la resina

Para el trabajo con membranas:

- El área de membrana se puede determinar por la ecuación:

$$A_m = \frac{F_p(1 - X_p)}{J_d \cdot \rho} \quad 2.17$$

Donde:

A_m : Área de membrana

F_p : Flujo de permeado

X_p : Composición del permeado

J_d : Flujo volumétrico del disolvente

ρ : Densidad

- Número de membranas:

$$\# \text{ de Membranas} = \frac{Q_p}{J \cdot A} \quad 2.18$$

Donde:

Q_p : Caudal de permeado

J : Variación de flujo

A : Área

- Tubos de presión:

$$T = \frac{M}{M_t} \quad 2.19$$

Donde:

T : Número de tubos requeridos

M : Número de membranas

M_t : Número de membranas por tubo

➤ Variación de flujo:

$$J = \frac{Q}{A} \quad 2.20$$

Donde:

Q: Caudal nominal

El flujo a través de una membrana se expresa en función de la fuerza impulsora como:

$$J_d = \frac{P_d}{L_M} (\Delta P - \Delta \pi) \quad 2.21$$

Donde:

J_d : Flujo volumétrico del disolvente

P_d : Permeabilidad de la membrana al disolvente

L_M : Espesor de la capa activa de la membrana

ΔP : Diferencia de presión entre ambos lados de la membrana

$\Delta \pi$: Diferencia de presión osmótica

Las membranas reales son parcialmente semipermeables y por tanto algo de soluto pasará a través de la membrana. El flujo de soluto lo podemos escribir:

$$J_b = \frac{P_s}{L_M} (C_b - C_p) \quad 2.22$$

El balance de materia, despreciando la polarización por concentración será:

$$J_b = C_p J_{disolucion} \approx C_p J_d \quad 2.23$$

Para caracterizar los procesos de membranas en general hay dos parámetros que se utilizan habitualmente: el coeficiente de retención expresado en la ecuación 2.23 y la selectividad en la ecuación 2.24.

$$R^0 = \frac{C_b - C_p}{C_b} = 1 - \frac{C_p}{C_b} \quad 2.24$$

$$\alpha^0 = \frac{P_d}{P_b} \quad 2.25$$

Donde:

P_d : Permeabilidad de la membrana al disolvente

P_b : Permeabilidad de la membrana al soluto

C_b : Concentración en el rechazo

C_p : Concentración en el permeado

Si se tiene en cuenta la polarización por concentración en OI se debe introducir el módulo de polarización (M):

$$M = \frac{C_w}{C_b} \quad 2.26$$

Donde:

C_w : Concentración del soluto en la interfase alimento-membrana (pared)

C_b : Concentración de soluto en flujo global (lado del alimento)

La disminución del flujo con el tiempo suele seguir una forma exponencial hasta un valor asintótico bajo:

$$J_d(t) = (J_{inic} - J_{asint})t^m + J_{asint} \quad 2.27$$

Donde:

$J_d(t)$: Flujo de disolvente en el tiempo t

J_{inic} : Flujo de disolvente inicial

J_{asint} : Flujo asintótico

m : Constante empírica negativa

La diferencia de presión hidrodinámica: $P_2 - P_1$ se denomina diferencia de presión osmótica. Si la fase diluida (fase 1) está exenta de soluto, es decir consiste en disolvente puro, la actividad es igual a la unidad y la ecuación anterior se convierte en:

$$\pi = -\frac{RT}{V_d} \ln \alpha_d \quad 2.28$$

Donde:

π : Presión osmótica

V_d : Volumen molar del disolvente

α_d : Actividad del disolvente

2.6.3 Diseño del filtro prensa para la eliminación de carbón activado.

El filtro prensa es un equipo muy útil para la eliminación de impurezas en cualquier sustancia y su parámetro de diseño es el área.

El área del filtro prensa se puede determinar por la ecuación siguiente:

$$A_{fp} = 2L^2 \cdot \# \text{ Marcos} \quad 2.29$$

Donde:

A_{fp} : Área de filtración de un filtro prensa (m^2)

L : Longitud del marco (m)

La capacidad de filtración o flujo volumétrico se calcula por la ecuación:

$$Q = \frac{V_f}{t_f} \quad 2.30$$

Donde:

Q : Capacidad de filtración (m^3/s)

V_f : Volumen de filtrado (m^3)

t_f : Tiempo de filtración (s)

El tiempo de filtración se calcula mediante la ecuación:

$$t_f = t_c - t_a \quad 2.31$$

Donde:

t_c : Tiempo del ciclo de filtración (s)

t_a : Tiempo de operaciones auxiliares (s)

Diseño de filtración.

La ecuación básica de filtración se expresa como:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 \Delta P}{\mu \alpha V \bar{v} + A \mu R} \quad 2.32$$

Donde:

V : Volumen del filtrado colectado (m^3)

t : Tiempo (s)

A : Área de filtración (m^2)

ΔP : Caída de presión (Pa)

dV : Incremento de volumen (m^3)

dt : Incremento de tiempo (s)

μ : Viscosidad del filtrado

α : Resistencia específica de la torta (m^{-2})

R : Resistencia del medio filtrante (m^{-1})

\bar{v} : Volumen de la torta por unidad de volumen filtrado

Resistencia de la torta:

La velocidad de filtración es directamente proporcional a la caída de presión e inversamente proporcional a la viscosidad del filtrado y espesor de la torta.

$$v = \frac{1}{A} \left(\frac{dV}{dt} \right) = B \frac{\Delta P_t}{\mu \cdot l} \quad 2.33$$

Donde:

v : Velocidad de filtración (m/s)

B : Coeficiente de permeabilidad de la torta (m^2)

ΔP_t : Caída de presión a través de la torta (Pa)

μ : Viscosidad del filtrado (Pa.s)

l : Espesor de la torta (m)

El índice de compresibilidad de la torta puede evaluarse:

$$\alpha = \alpha_0(\Delta P)^s \quad 2.34$$

Donde:

α_0 : Resistencia de la torta al inicio del depósito de sólidos (m/kg)

s: Índice de compresibilidad

Resistencia de medio filtrante

La resistencia específica del medio filtrante puede ser expresada como:

$$R_m = \frac{A \cdot \Delta P}{q \cdot \mu} \quad 2.35$$

Donde:

R_m : Resistencia específica del medio filtrante (m^{-1})

q : Flujo volumétrico a través de la precapa (m^3/s)

Permeabilidad del medio filtrante

La permeabilidad es una propiedad del medio filtrante que determina la cantidad de aire en volumen que puede pasar a través de un área determinada del medio filtrante en un tiempo

Para medios filtrantes tejidos, la permeabilidad se calcula en términos de ($L/dm^2 \cdot min$) mediante la ecuación:

$$R = \frac{\bar{qv}}{A} \quad 2.36$$

Donde:

qv : Promedio aritmético de flujo de aire (dm^3/min o L/min)

A: Área del medio filtrante sujeto a medición de permeabilidad (dm^2)

2.7 Diseño de un sistema de flujo de fluidos.

Para el diseño de un sistema de flujo de fluidos es necesario tener presente el proceso de selección de la bomba, el sistema mecánico de impulsión y las variables necesarias para su funcionamiento. Este sistema de flujo de fluidos se propone con el objetivo de plantear la metodología para el bombeo de materias primas en todo el proceso tecnológico.

Ecuación del balance de energía mecánica:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{\alpha (v_1)^2}{2g} + H_b = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{\alpha (v_2)^2}{2g} + H_p \quad 2.37$$

Donde:

P_1 : Presión en el punto 1

P_2 : Presión en el punto 2

V_1 : Velocidad en el punto 1

V_2 : Velocidad en el punto 2

Z_1 : Altura del punto 1 (origen del sistema de coordenadas)

Z_2 : Altura del punto 2 (con respecto al origen del sistema coordinado)

H_b : Carga de la bomba

H_p : Pérdidas por fricción totales

α_1 : Factor de corrección 1

α_2 : Factor de corrección 2

ρ : Densidad del fluido

g : Aceleración de la gravedad

Para desarrollar un sistema de impulsión adecuado es necesario tomar en cuenta todas las pérdidas de carga producidas a lo largo del sistema y así lograr un óptimo rendimiento.

Las pérdidas en un sistema hidráulico se clasifican en:

- Pérdidas mayores (tubería)
- Pérdidas menores (accesorios).

Las pérdidas de presión en la tubería se calculan dependiendo del tipo de flujo que se está estudiando es decir si el flujo de trabajo es laminar o turbulento, para determinar esto se toma a consideración el concepto del Número Reynolds (Re).

Si $Re < 2\ 000$ es laminar.

Si $2\ 000 < Re < 4\ 000$ el fluido está en la sección crítica.

Si $Re > 4\ 000$ es flujo turbulento.

El número de Reynolds se calcula:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad 2.38$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido

v : Velocidad

D : Diámetro interior de la tubería

μ : Viscosidad dinámica del fluido

Este número de Reynolds se calcula tanto para la línea de succión como para la de descarga.

Si el sistema tiene un flujo de trabajo turbulento las pérdidas en las tuberías se calculan en base a la ecuación de Darcy, y además hay que agregarle el concepto de rugosidad necesario para obtener el factor de fricción (f) mediante el diagrama de Moody (Ver anexo 10).

$$H_{p_{Tub}} = \frac{fL(v)^2}{2gD} \quad 2.39$$

Donde:

$H_{p_{Tub}}$: Pérdidas en la tubería

f: Factor de fricción

L: Longitud de la tubería

V: Velocidad del fluido

g: Gravedad

D: Diámetro de la tubería

La rugosidad relativa es la relación existente entre el diámetro interno de la tubería y la rugosidad promedio de la pared (ε), los valores de rugosidad en las tuberías están en el anexo 11.

Entonces la rugosidad relativa viene expresada por la ecuación:

$$R = \frac{D}{\varepsilon} \quad 2.40$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería

ε : Rugosidad

Al igual que el número de Reynolds la rugosidad relativa tiene que ser determinada en la tubería de succión y en la de descarga.

Las pérdidas menores de energía son aquellas que se producen en el sistema por accesorios instalados en la tubería tales como: codos, filtros, Tees, válvulas check, válvulas de compuerta, etc. los cuales tienen la función de cambiar la trayectoria del fluido u ofrecen oposición al paso de este.

Para su cálculo se debe dividir el sistema en succión y descarga y se calculan por la ecuación:

Las pérdidas por fricción en accesorios se calculan:

$$H_{p_{Acc}} = \sum K * \frac{(v)^2}{2g} \quad 2.41$$

Donde:

K: Coeficiente de resistencia de accesorios

v: Velocidad promedio del flujo en el tubo, donde ocurre esta pérdida

La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida, y a veces de la velocidad de flujo.

El coeficiente de resistencia de accesorios se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{L_e}{D} \cdot Ft \quad 2.42$$

Donde:

$\frac{L_e}{D}$: Longitud equivalente en diámetros de tubería

Ft: Factor de fricción tabulado de acuerdo al diámetro de la tubería

Para el cálculo de las pérdidas por fricción totales se emplea la ecuación:

$$Hp = H_{p_{succión}} + H_{p_{descarga}} \quad 2.43$$

Donde:

$H_{p_{succión}}$: Pérdidas por fricción en la succión

$H_{p_{descarga}}$: Pérdidas por fricción en la descarga

$$H_{p_{succión}} = H_{p_{Tub}} + H_{p_{Acc}} \quad 2.44$$

Donde:

$H_{p_{Tub}}$: Pérdidas por fricción en tuberías

$H_{p_{Acc}}$: Pérdidas por fricción en accesorios

Las pérdidas por fricción en la descarga se calculan:

$$H_{p_{descarga}} = H_{p_{Tub}} + H_{p_{Acc}} + H_{p_{ME}} \quad 2.45$$

Donde:

$H_{p_{ME}}$: Pérdidas en el metro orificio

Estas pérdidas provocadas por el metro orificio se calculan:

$$H_{p_{ME}} = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad 2.46$$

Donde:

ΔP : Caída de presión determinada por el metro orificio

Potencia de la bomba:

La potencia que la bomba debe transmitir al fluido viene dada por la expresión:

$$P_a = H_b \cdot \gamma \cdot q \quad 2.47$$

Donde:

γ : Peso específico del fluido

q : Flujo volumétrico

Luego para calcular la potencia de la bomba se utiliza la ecuación:

$$P_e = \frac{P_a}{e} \quad 2.48$$

Donde:

e : Eficiencia recomendada y asumida

NPSH de la bomba:

El cálculo del NPSH es un factor muy importante en el diseño de un sistema hidráulico, este factor previene la cavitación y por lo tanto alarga la vida útil del sistema.

$$NPSH = h_{sp} \pm h_s - H_{p_{Tub}} - h_{vp} \quad 2.49$$

Donde:

h_{sp} : Carga de presión estática sobre el fluido en el almacenamiento

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel de fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba

$H_{p_{Tub}}$: Perdidas de carga en la tubería de succión

h_{vp} : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo

Luego de ser determinados estos factores se va a un catálogo de bomba y se selecciona aquella que cumpla con todos los requisitos.

2.8 Metodología para el análisis económico.

Un proceso industrial solo tiene perspectivas de comercialización si su aspecto económico es favorable.

Se pueden identificar tres tipos de niveles para el diseño de un proceso:

1. Diseño preliminar
2. Estudio de preinversión
3. Diseño final o ingeniería de detalle

Componentes de la economía de un proceso

El diseño de una planta debe presentar un proceso capaz de operar en condiciones tales que lleve a la obtención de una utilidad. Como la ganancia neta significa el

ingreso total menos todos los gastos, es esencial que el ingeniero químico tenga un claro conocimiento de los diversos tipos de costos que intervienen en los procesos de producción. Están los gastos directos y los indirectos. Entre los gastos directos están los correspondientes a las materias primas, mano de obra y equipos. Entre los indirectos están por ejemplo los correspondientes a salarios del personal de administración y costo de distribución del producto.

Para todo proceso industrial es necesario invertir capital y la determinación de la inversión necesaria constituye una parte importante del proyecto de la planta. Para cualquier proceso, la inversión total consiste en inversión de capital fijo para adquirir e instalar los equipos destinados al proceso, con todos los servicios auxiliares necesarios para el funcionamiento del proceso completo más el capital de trabajo, que está formado por el dinero necesario para la operación de la planta (para el pago de salarios, mantener un stock de materias primas y manejar otras situaciones que requieran disponer de dinero en efectivo). La relación entre el capital de trabajo y la inversión total varía para diferentes compañías, pero la mayoría de las plantas químicas utilizan un capital de trabajo que representa entre el 10 y el 20% de la inversión total. Este porcentaje puede llegar al 50% o más en el caso de las empresas que producen bienes de consumo estacional, debido a la gran cantidad de ellos que debe mantenerse en depósito durante apreciables períodos de tiempo.

Por lo tanto, al analizar los costos industriales, se deben tener en cuenta los costos debidos a la inversión de capital, los costos de producción y los gastos generales, incluyendo los impuestos a las ganancias.

El análisis económico que se propone es con el objetivo de analizar el costo de la inversión de las mejoras propuestas anteriormente, si resulta factible realizar esta inversión y cuánto tiempo demoraría en recuperarse y si no existen riesgos para efectuar la misma. En esta metodología para la determinación de los costos solo se consideran los costos vinculados al caso objeto de estudio.

2.8.1 Costos de inversión.

El costo de inversión es el conjunto de gastos en recursos materiales y humanos expresados en términos financieros o económicos, necesarios para la puesta en marcha de cualquier variante de solución de un problema primitivo.

Elementos que componen el costo de inversión.

- ✓ Costo de inversión para producción.
- ✓ Costo de inversión para la distribución de la producción.
- ✓ Costo de inversión de las obras inducidas.

Existen varios métodos utilizados para estimar el costo de la inversión tales como:

- Estimaciones de orden de magnitud (Método de Hill) basados en datos suficientes para determinar el tipo de equipamiento y su arreglo para convertir materias primas en productos.
- Estimación de estudio (Método de Lang) basada en un diseño de proceso preliminar.
- Estimación preliminar basada en estudios de diseño de procesos detallados tendientes a optimizar el diseño.
- Estimación definitiva basada en un estudio de diseño definitivo y detallado.

El método de Lang es un método rápido en función del equipamiento principal (Brizuela, 1987). Este método estima el Capital Fijo de Inversión, como el producto del Costo de Adquisición del Equipamiento Tecnológico (CAET), por un factor, que está en dependencia del tipo de planta analizada.

Estimación de la inversión según la metodología de Lang

Para efectuar la estimación del costo de inversión de la planta, se debe seguir un grupo de pasos establecidos en el método de Lang.

1. Determinar el costo base de los equipos del proceso:

Determinar el costo de adquisición del equipamiento tecnológico de una planta implica el conocimiento de los distintos equipos necesarios en la misma y de sus características físicas primordiales. Si se conocen las dimensiones fundamentales de cada equipo, resulta posible estimar su costo de adquisición empleando para ello la literatura general disponible, la cual está constituida por manuales de información económica de carácter industrial, información económica específica sobre plantas previamente construidas en el país, catálogos de equipos, ofertas para la venta de equipos similares a los que se van a adquirir, entre otros. Normalmente la literatura económica correlaciona el costo de adquisición con una dimensión o característica física fundamental del equipo (Brizuela, 1987). También pudieran emplearse *softwares* dedicados a la estimación de los costos de equipos tecnológicos.

El *software* CAPCOST es una herramienta muy útil para la estimación de los costos de inversión de plantas que involucran distintos tipos de equipos. Este programa computarizado le permite al usuario introducir los datos de forma interactiva y obtener un costo estimado en mucho menos tiempo que el requerido para los cálculos manuales y con menor probabilidad de error. La información que se debe suministrar sobre el equipo depende de la naturaleza del mismo y de sus dimensiones fundamentales, tales como la capacidad, la presión de operación o los materiales de construcción (Turton, 2018).

2. Calcular el costo total del equipamiento tecnológico de la planta:

Según Tovar (2009), este método comienza con la suma del costo base de los principales componentes del proceso.

$$I_e = \sum I_i \quad 2.50$$

Donde:

I_i : Costo base de los principales equipos del proceso (pesos)

I_e : Costo total de equipamiento de la planta (pesos)

3. Estimar el costo total de inversión de la planta:

Luego se multiplica el costo del equipamiento por una serie de factores de experiencia.

$$I = (I_e + (\sum f_i \cdot I_e)) \cdot f_l \quad 2.51$$

Donde:

I : Estimación de la inversión completa del proceso (pesos)

f_i : Factor para la estimación del costo de tuberías, instrumentación, edificios, y otros

f_l : Factor que toma en cuenta los gastos indirectos, tales como salarios del personal involucrado (ingenieros, contratistas), contingencias, etc.

Si se modifica la expresión anterior, se obtiene la siguiente:

$$I = ((1 + \sum f_i) \cdot f_l) \cdot I_e \quad 2.52$$

O lo que sería lo mismo:

$$I = f_L \cdot I_e \quad 2.53$$

En este caso f_L es el factor de Lang, el cual se expresa de la siguiente forma:

$$f_L = (1 + \sum f_i) \cdot f_l \quad 2.54$$

En la siguiente tabla se muestran los valores del factor de Lang que se han reportado para distintos tipos de plantas, en función de las sustancias que procesa y del material de construcción de los equipos.

Tabla 2.4: Valores del factor de Lang para distintos tipos de plantas.

Tipo de proceso	Acero al carbono	Acero inoxidable	Súper aleaciones
Fluidos	4,74	3,0	3,0
Sólidos	3,10	2,5	2,0

Sólido-fluido	3,63	2,8	2,5
---------------	------	-----	-----

Fuente: Tovar (2009)

El factor de experiencia de Lang se deriva del análisis de varios procesos existentes. Esto refleja que los costos de los equipos, contrario a lo que tal vez pudiera esperarse, pueden representar en muchas ocasiones una fracción no muy considerable dentro de la inversión total de una planta.

Efecto del tiempo sobre el costo de adquisición de los equipos.

Los cálculos del costo de capital en los casos de prediseño, se fijan normalmente a partir de precios antiguos. Debido a las condiciones cambiantes de la economía, se necesitan índices correctivos para ajustar los datos a un estado corriente o futuro (Peters y Timmerhaus, 1991). Con respecto a esto, Jiménez (2003) afirma que el efecto de la inflación sobre los costos de adquisición del equipamiento en plantas químicas puede cuantificarse mediante el uso de índices especializados. Para pasar la información del costo de un año base a un año deseado, simplemente se toma el cociente de los índices de los años en cuestión. Esto puede lograrse usando la expresión siguiente:

$$C_2 = C_1 \cdot \frac{I_2}{I_1} \quad 2.55$$

Donde:

C_1 : Costo de adquisición en el año base (pesos)

C_2 : Costo de adquisición (pesos) en el año deseado (pesos)

I_2 : Índice de costo en el año base

I_1 : Índice de costo en el año deseado

El costo de compra de un equipamiento de proceso se obtiene generalmente a partir de proyecciones, ecuaciones o cotizaciones de vendedores. Sin embargo, los

costos no son estáticos. Debido a la inflación generalmente se incrementan con el tiempo. Entonces, las proyecciones y ecuaciones generalmente se aplican a una fecha en particular, usualmente mes y año o para un promedio de un año en particular. Cotizaciones de los vendedores son aplicables solo para uno o dos meses. Una estimación del costo de compra para una fecha posterior es obtenida multiplicando el costo para una fecha anterior por la relación entre un índice de costos I en la fecha posterior al índice del costo base (Rivero, 2019).

La inversión es necesaria para la puesta en marcha de una nueva capacidad industrial que dé solución a un problema primitivo, pero esta presupone:

- Estimarla correctamente de acuerdo a los diferentes métodos existentes.
- Evaluar su factibilidad a través de los diferentes indicadores económicos.

2.8.2 Costos de producción.

Según Rus (2020), el costo de producción es el gasto necesario para fabricar un bien o para generar un servicio. Está relacionado con aquellos gastos necesarios, quedando fuera otros como los financieros. Suele incluir la materia prima y aprovisionamientos, la mano de obra directa e indirecta y otros costes de gestión como amortizaciones, alquileres o gastos de asesoramiento.

Componentes del costo de producción

El costo de producción está constituido por los siguientes costos:

- Costo de la materia prima (C_{MP})

El consumo de la materia prima requerida para elaborar el producto terminado ocasiona un gasto económico importante, el cual puede representar del 10 al 60 % del costo total de manufactura. Tovar (2009) explica que lo más recomendable para efectuar la estimación es contar con la cotización de un proveedor, pero si no es posible, pueden utilizarse los precios publicados en revistas. Dichos precios

usualmente no incluyen envío, de modo que se debe agregar el costo del transporte, el cual representa aproximadamente el 10 % del costo de la materia prima.

➤ Costo de los materiales de producción (C_{MProd})

En la mayor parte de los procesos productivos se consumen catalizadores, solventes y agentes químicos, lo cual ocasiona un egreso económico que debe ser contabilizado como parte del costo de la producción.

➤ Costo de mantenimiento o reparación (C_{Mant})

En todo proceso industrial es imprescindible, cada cierto tiempo, efectuar trabajos de reparación, tanto en la planta en su conjunto durante el mantenimiento general, como individualmente en los equipos que componen la misma, para lo cual no necesariamente debe detenerse todo el proceso productivo. El mantenimiento tiene dos causas principales: en primer lugar, la necesidad de restituir la eficiencia de la planta que se pierde paulatinamente en la producción como resultado del ensuciamiento y desgaste mecánico de los equipos; y en segundo lugar, la necesidad de reducir las posibilidades de roturas imprevistas de magnitud, que redundan en pérdidas serias en la producción (Rivero, 2019).

El costo de mantenimiento está formado por dos componentes: el valor económico de los materiales y piezas de repuesto utilizado en la reparación, y los salarios devengados por el personal de mantenimiento.

La magnitud de este costo varía ampliamente de un proceso a otro en concordancia con sus características tecnológicas. Normalmente la cuantía del costo anual de mantenimiento de una planta se expresa como una porción del valor económico total de las instalaciones, según se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 2.5: Costo de mantenimiento anual.

<i>Tipo de planta</i>	<i>Porcentaje del costo de inversión</i>

Con bajo nivel de severidad	2-3 %
Con nivel de severidad promedio	4-6 %
Con elevado nivel de severidad	7-15 %

Fuente: Brizuela (1987)

- Costo de la fuerza de trabajo utilizada en el proceso productivo (C_{FT})

El costo de la fuerza de trabajo directa está constituido por los salarios que devenga el personal, calificado y no calificado, que trabaja directamente en el proceso productivo, operadores del proceso, supervisores y en general, el personal de operación.

En los procesos químicos industriales con un mediano nivel de automatización, el costo de la fuerza de trabajo directa puede representar entre un 5 y un 10 % del costo de la producción total, mientras que en procesos con un bajo nivel de automatización este elemento puede representar entre un 15 y un 25 % del mismo.

- Depreciación (D)

La depreciación es un elemento del costo de producción cuyas causas fundamentales son la obsolescencia física y moral de los equipos que componen la planta en su conjunto, las cuales van acompañadas de una pérdida del valor económico de la planta; esta pérdida se contabiliza como parte del costo de producción y constituye la depreciación.

Para estimar la magnitud de la depreciación se emplea generalmente la siguiente expresión:

$$D = \frac{V_0 - V_f}{t_d} \quad 2.56$$

Donde:

D : Depreciación anual de la planta (peos/a)

V_0 : Plazo de vida útil de la planta (a)

V_f : Valor económico inicial de la planta (pesos)

t_d : Valor económico de la planta al finalizar su vida útil (pesos)

No obstante, para estudios preliminares Turton (2018) propone estimarlo como el 10 % anual del costo de inversión.

➤ Costo de facilidades auxiliares (C_{FAux})

El costo de las facilidades auxiliares está constituido por el gasto económico que ocasiona el consumo de vapor, agua, electricidad, combustible y aire en el proceso productivo durante la elaboración del producto terminado.

Para poder definir cómo determinar la magnitud de este costo, se necesita considerar si estos servicios pueden ser obtenidos de una fuente externa a la planta analizada, o por el contrario pueden ser generados dentro de la misma.

En el caso de que el servicio sea comprado, el costo de cada componente será igual al producto del consumo existente en la planta en un período dado de tiempo por su precio de venta unitario.

➤ Costo de suministros de operación (C_{Sum})

Durante la operación de la planta se emplean normalmente distintos materiales que se requieren para su funcionamiento normal y que por sus características no pueden ser considerados como materiales directos de la producción, ni tampoco como materiales para el mantenimiento. Tal es el caso de los reactivos químicos usados para el control del proceso, lubricantes y grasas empleadas en las bombas y compresores, etc.

Este costo constituye aproximadamente el 15 % del costo total de mantenimiento o reparación de la planta.

➤ Costos de laboratorios (C_{Lab})

La magnitud de este costo se encuentra en la mayor parte de los procesos industriales entre un 10 y un 20 % del costo de la fuerza de trabajo directa de la planta.

➤ Costos de embalaje (C_{Emb})

Están considerados los gastos económicos en que hay que incurrir para adquirir los suministros empleados en el embalaje de la producción terminada.

➤ Costos generales (C_{Gen})

Los costos generales están constituidos por los gastos económicos que se generan para asegurar el funcionamiento de ciertos servicios requeridos indirectamente por el proceso productivo. Entre estos se incluyen:

- Salario devengado por el personal técnico que no trabaja directamente en la producción.
- Costo de comedores y facilidades recreativas
- Costo de los servicios de protección de planta
- Costo de almacenes
- Mantenimiento general (edificios)
- Costo de la electricidad en edificios
- Otros gastos

Los costos generales se correlacionan normalmente con el gasto total de la fuerza de trabajo directo y el mantenimiento, oscilando entre un 50 y un 70 % de la suma de ambos.

➤ Costos de administración o dirección (C_{Adm})

Los costos administrativos están constituidos por gastos económicos relacionados con las actividades de carácter administrativo y de dirección de la fábrica, entre los

que se encuentran los salarios del personal ejecutivo, secretarias, contadores y personal administrativo, costos de materiales de oficina y de comunicaciones externas. Estos costos dependen fundamentalmente del tamaño de la planta y de sus características, por lo que en ausencia de otros criterios es posible hacer un estimado de su magnitud considerando que oscila entre un 40 y un 60 % del costo de la fuerza de trabajo directa (Brizuela, 1987).

Tovar (2009) afirma que en la estimación del costo total del producto, la exactitud es tan importante como en la estimación de la inversión de capital. La fuente más importante de errores está constituida por la no consideración de algunos elementos del costo. El costo de producción total de una planta (CP) puede considerarse como la suma del costo variable total (CV) y del costo fijo total (CF), los cuales constituyen a su vez la sumatoria de todos los costos variables y fijos de la planta, respectivamente, tal como se muestra en las siguientes expresiones, cuya nomenclatura ha sido declarada anteriormente.

$$CV = C_{MP} + C_{MProd} + C_{FTrab} + C_{FAux} + C_{Lab} + C_{Emb} \quad 2.57$$

$$CF = C_{Mant} + D + C_{Sum} + C_{Gen} + C_{Adm} \quad 2.58$$

$$CP = CV + CF \quad 2.59$$

Todos los costos anteriores suelen calcularse tomando como base el costo anual, el cual proporciona una forma conveniente de tener en cuenta gastos poco frecuentes pero cuantiosos, tales como los gastos anuales de limpieza y mantenimiento (Tovar, 2009).

2.8.1 Indicadores económicos de la eficiencia de la producción.

Los indicadores para el análisis de la eficiencia de la producción son el valor de la producción, el costo de la producción, utilidades, rentabilidad, costo por peso, punto de equilibrio y estructura del costo de producción.

- Valor de la producción (VP): Este valor depende del precio unitario del producto y el volumen de producción.

$$VP = pup \cdot N \quad 2.60$$

Donde:

VP :(pesos/a)

pup : Precio unitario del producto (pesos/t)

N : Volumen de producción (t/a)

- Costo de la producción (CP): No es más que la suma del costo variable y el costo fijo.

$$CP = cuv \cdot N + CF \quad 2.61$$

Donde:

CP : (pesos/a)

cuv : Costo unitario variable (pesos/t)

N : Volumen de producción (t/a)

CF : Costo fijo (pesos/a)

- Utilidades (U): Se determina mediante la diferencia entre el Valor de la producción y el Costo de la producción.

$$U = VP - CP \quad 2.62$$

Donde:

U : (pesos/a)

- Rentabilidad (Rn): No es más que la ganancia que se obtiene del costo empleado en la producción.

$$Rn = \frac{U}{CP} \cdot 100 \quad 2.63$$

Donde:

Rn : (%)

- Costo por peso (CPP): Es la relación existente entre el Costo de producción y el Valor de la producción.

$$CPP = \frac{CP}{VP} \quad 2.64$$

- Punto de equilibrio (N_o): El punto de equilibrio es el volumen de producción, a partir del cual se obtienen ganancias. En este punto, la ganancia es cero y se iguala el costo de producción al valor de la producción.

$$N_o = \frac{CF}{pup - cuv} \quad 2.65$$

Donde:

N_o : (t/a)

- Estructura de costo: Permite determinar cuáles son los costos que más inciden en el costo de producción total. Normalmente se presenta gráficamente. Se obtiene como el cociente de cada uno de los costos del proceso en cuestión y el costo de producción.

$$\%C_i = \frac{C_i}{CP} \cdot 100 \quad 2.66$$

Donde:

$\%C_i$: Porcentaje que representa cada costo respecto al costo de producción (%)

C_i : Elementos del costo de producción (pesos/a)

2.8.2 Indicadores de la eficiencia económica de la inversión.

Los indicadores para el análisis económico de la eficiencia de la inversión son el retorno de la inversión, el plazo de recuperación de la inversión, el valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad.

- Retorno de la Inversión (RI): Su valor expresa el ritmo anual con que retorna la inversión a través de la ganancia.

$$RI = \frac{U}{I} \cdot 100 \quad 2.67$$

Donde:

RI: (%/a)

Debe aclararse que para determinar la efectividad económica de una inversión debe compararse su Taza de Retorno con una Taza Normada que es fijada para cada rama de la producción.

Para la industria química, Taza Normada 17 %

Sí: % Retorno calculado >Taza Normada, se acepta la inversión.

- Plazo de recuperación de la inversión (PRI): Es el tiempo que toma recuperar la inversión inicial.

$$PRI = \frac{I}{U} \quad 2.68$$

Donde:

PRI: (a)

- Valor Actual Neto (VAN): No es más que la actualización del movimiento de fondos en el tiempo.

Pasos para determinar el VAN:

- 1) Determinar el valor de la inversión.

- 2) Definir el horizonte.
- 3) Determinar los ingresos y egresos del proyecto para cada año.
- 4) Calcular el valor del VAN.
- 5) Aceptar o rechazar el proyecto.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} = S_0 + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \frac{S_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad 2.69$$

Donde:

VAN: (Pesos)

S: Movimiento de fondos (pesos)

i: Tasa de interés vigente (%)

Conviene recordar que al analizar la inversión se invierte el capital en el presente para obtener un resultado en el futuro, por lo tanto existe una tasa de actualización o interés que representa el costo del capital adquirido, ya que el dinero se presta por los bancos con un cierto interés *q* hay *q* retornar.

Si el *VAN* = 0 Significa que los flujos de efectivo del proyecto son justamente suficientes para rembolsar el capital invertido con el interés vigente.

Si el *VAN* >0 Indica que el proyecto de inversión genera más efectivo que el valor invertido inicialmente.

- Taza Interna de Rentabilidad (*TIR*): Es la tasa de interés que hace el *VAN* igual a cero:

$$TIR = i_1 - \frac{VAN_P(i_1 - i_2)}{VAN_P - VAN_N} \quad 2.70$$

Donde:

TIR: (%)

VAN_P : VAN positivo

VAN_N : VAN negativo

i_1 : Interés para el cual el VAN es positivo

i_2 : Interés para el cual el VAN es negativo

Un proyecto de inversión se acepta de acuerdo a la TIR siempre que se cumpla que
 $TIR > \text{Taza de interés vigente}$.

Conclusiones.

Como resultado de esta investigación se pueden plantear las siguientes conclusiones:

1. La realización del diagnóstico técnico del proceso tecnológico de la empresa Ron Yucayo permitió detectar problemas de capacidad, estado técnico y operacional en equipos claves del proceso y deficiencias en el sistema de trasiego de fluidos, que impiden incrementar la producción.
2. Se caracterizaron químicamente las materias primas para la producción de nuevos rones, según lo establecido por la Resolución 12 del MINAL, y todas cumplen con el grado alcohólico e impurezas establecidas.
3. A partir de los rones bases estudiados se pueden obtener un ron Carta Blanca (base blanca de un año de añejamiento con 66,67 % y agua desmineralizada con 33,33 %) y Ron Añejo (base blanca de cinco años de añejamiento con 46,64 %, base blanca de un año con 20,06 % y agua desmineralizada con 33,3 %).
4. Para el logro de la producción de 4 200 L de estos nuevos rones se propone el diseño de los tanques de almacenamiento de materias primas y rones, procesos para el tratamiento de agua por osmosis inversa, filtro prensa y del sistema hidráulico para el trasiego de los fluidos en el proceso.
5. Se describe el análisis económico de la inversión a realizar en las mejoras propuestas.

Recomendaciones.

1. Realizar un análisis técnico-económico para la producción del Espirituoso a partir de la mezcla de la base blanca de un año de añejamiento y malta, en la empresa Ron Yucayo.
2. Analizar la capacidad de la máquina embotelladora.
3. Estudiar los residuales del proceso para definir tratamientos que permitan mitigar el impacto ambiental de sus vertimientos.

Bibliografía.

- Agua, N. (2016). Novo Agua. [Online]. Disponible: <http://novoagua.com/productos/tratamiento-aguas/osmosis-inversa/equiposindustriales-y-comerciales-1/>
- Alahabadi, A., Singh, P., Raizada, P., Anastopoulos, L., Sivamani, S., Dotto, G., Landarani, M., Ivanets, A., Kyzas, G., Hosseini-Bandegharai, A. (2020). *Activated carbon from Wood wastes for the removal of uranium and thorium ions through modification with mineral acid. Journal of Colloids and surface a: Physicochemical and engineering aspects.* DOI: 10.1016/j.colsurfa.2020.125516
- Ávila, M., Alonso Morales, N., Baeza, J., Rodríguez, J., Gilarranz, M. (2020). *High load drug release systems based on carbon porous nanocapsule carriers. Ibuprofen case study. Journal of Materials Chemistry B.* DOI: 10.1039/D0TB00329H
- Ayinla, R., Dennis, J., Zaid, H., Sanusi, Y., Usman, F., Adebayo, L. (2019). *A review of technical advances of recent palm bio-waste conversion to activated carbon for energy storage. Journal of Cleaner production.* 1427-1442. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.116
- Ayodele, O., Adekunle, A., Adesina, A., Pourianejad, S., Zentner, A., Dornack, C. (2020). *Stabilization of anaerobic co-digestion of biowaste using activated carbon of coffee ground biomass. Journal of Bioresource technology.* DOI: 10.1016/j.biortech.2020.124247
- Bacakova, L., Pajorova, J., Tomkova, M., Matejka, R., Broz, A., Stepanovska, J., Prazak, S., Skogberg, A., Siljander, S., Kallio, P. (2020). *Applications of nanocellulose/nanocarbon composites: Focus on biotechnology and medicine. Journal of Nanomaterials.* DOI: 10.3390/nano10020196
- Belmonte Sánchez, J. R., Gherghel, S., Arrebola Liébanas, J., Romero González, R., Martínez Vidal, J. L., Parkin, I., Garrido Frenich, A. (2018). Rum classification using fingerprinting analysis of volatile fraction by headspace solid

- phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry. *Talanta* 187: 348-356.
- Blusher, E. (2005). Tecnología de Bebidas. Sao Paulo. En W.G. Venturini (Ed). (1era ed., pp485-524)
- Borroto Mato, D., Lorenzo Izquierdo, M., García Gutiérrez, R., Reyes Linares, A. (2017). Aspectos generales sobre la determinación de alcoholes superiores en bebidas alcohólicas. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 51, núm. 3, pp. 58-65. [Online]. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223158039009>
- Brizuela, E. (1987). Aspectos fundamentales del diseño de plantas industriales. Tomos I y II. Ciudad de La Habana: Ed. ISPJAE.
- BUJAN, J. (1997). Cuaderno de vino: Enología Rubes pp. 60-65.
- Bustamante, R. (2014). Mercado mundial de los rones. [Online]. Available: <http://www.coctelybebida.com>
- Cabrera, A. (2019). Carbón activado: generalidades, en *El universal*. [Online]. Disponible: <https://www.eluniversal.com.mx/menu/que-es-el-carbon-activado>.
- Castaño Trujillo, C. A., Rodríguez Hernández, D. H. (2020). Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de recuperación de agua en la producción de agua desmineralizada de la Planta Termodorada. (Trabajo de Diploma, Universidad de Colombia) pp.72.
- CHATONNET, P. 1993. *Matrise de la chauffe du brulage en tinellerie. Application a la vinification et a l'elevage de vins en barriques. Tonellerie* pp. 32-40.
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., Tchobanoglous, G. (2005). *Water Treatment Principles and Design, Edition 2*. New Jersey: John Wiley and Sons. ISBN 0-471-11018-3.
- Cordovés, M. Boletín Notietanol.Revista ICIDCA. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. N02.2014. pp.1014. [Online]. Disponible: <http://www.icidca.cu/publicaciones/Notietanol.htm>
- Cruz Noguera, P. L. (2016). Aplicación del Análisis Complejo de Procesos al sistema tecnológico de producción de la Ronera Central. (Trabajo de Diploma, Universidad de Las Villas) pp.86.

- Edospina S.A. (1997). Planta de tratamiento de agua Termodorada. Bogotá, Colombia: Tipiel S.A. pp. 1-72.
- García, I., Sanz, J. (2011). Electrodesionización en Continuo (CEDI) para aplicaciones industriales: calderas de alta presión. [Online]. Disponible: <https://docplayer.es/2154156-Electrodesionizacion-en-continuo-cedi-para-aplicaciones-industriales-calderas-de-alta-presion-electrodesionizacion-en-continuo.html>
- GOC (2019). Gaceta Oficial de la República de Cuba No.18 del 2019. Resolución No.12 de 2019 del MINAL. ISSN 1682-7511.
- González, D. (2017). Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. (Tesis de licenciatura, Universidad de Chile).
- 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.* pp. 26-37.
- Hidritec. (2016). Osmosis inversa y desaladoras. [Online]. Available: <http://www.hidritec.com/hidritec/osmosis-inversa>.
- Ho, SS, and YY Eun. (2012). Simultaneous determination of methylcarbamate and ethylcarbamate in fermented foods and beverages by derivatization and GC-MS analysis. *Chemistry Central Journal*: pp.18. [Online]. Available: <http://journal.chemistrycentral.com>.
- Hoang, V., Dinh, K., Gomes, V. (2019). Hybrid Ni/NiO composite with N-doped activated carbon from waste cauliflower leaves: A sustainable bifunctional electrocatalyst for efficient water splitting. *Journal of Carbon*. DOI: 10.1016/j.carbon.2019.09.080
- Huang, X. (2009). Fabrication and propertis of carbon fiber. *Journal of materials*. 2369-2403. DOI: 10.3390/ma2042369
- Ioannidou, O y Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. *Journal of Science direct*. 1966-2005. DOI: 10.1016/j.rser.2006.03.013

- Jiménez Gutiérrez A. (2003). *Diseño de Procesos en Ingeniería Química*. Barcelona. Ed: Reverté. 257 p.
- Jiménez, L. F. (2020). Impacto del ron en el mundo: el licor más versátil y popular del mercado. [Online]. Available: <http://www.oceandrive.com>
- Kalaruban, M., Loganathan, P., Nguyen, T., Nur, T., Johir, M., Nguyen, T., Trinh, M., Vigneswaran, S. (2019). Iron-impregnated granular activated carbon for arsenic removal: Application to practical column filters. *Journal of Environmental management*. 235-243. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.03.053
- Lachenmeier, D, et al. (2010). Cancer risk assessment of ethyl carbamate in alcoholic beverages from Brazil with special consideration to the spirits cachaça and tiquira. *BioMed Central*. pp.1-15. [Online]. Available: <http://www.biomedcentral.com>
- Lima Neto, B.S., Franco, D. W. (1994). A aguardente e o controle químico de sua qualidade. *O Engarrafador Moderno*, n. 33, 5-8.
- Marcelo, C. A. (2010). Ron cubano, el hijo alegre de la caña de azúcar. *Excelencias Gourmet*, 27. [Online]. Available: <http://www.revistasexcelencias.com/excelenciasgourmet/gourmet-el-octavo-arte/ron-cubano-el-hijoalegre-de-la-cana-de-azucar>
- Martí Marcelo, C. M., Fabelo Falcón, J. A., González Suárez, E., Concepción Toledo, D. N. (2019). Experiencia y ciencia en los procesos tecnológicos: razones para apostar por la excelencia del ron cubano. *Universidad y Sociedad*, 11(5), 171-175.
- Miranda, M. (2016). *Distribuidora Cuba Ron S.A.* [Online]. Available: <http://www.cubaron.com>.
- Mott, R. (2006) *Mecánica de Fluidos*, Cuarta Edición, Editorial Pearson Educación, México.
- Mousavi, S., Nazari, B., Keshavarz, M., Bordbar, A. (2020). A simple method for safe determination of activity of palladium on activated carbon catalysts in the hydrogenation of cinnamic acid to hydrocinnamic acid. *Journal of Industrial and engineering chemistry research*. 1862-1874. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b06087

- Namuche Montes, S. M. (2018). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de agua potable por osmosis inversa a partir de agua de mar en el distrito de Huarmey – 2017. (Trabajo de Diploma, Universidad Nacional de Peru).
- NC-508: 2011. Bebidas alcohólicas-Determinación de componentes volátiles mayoritarios en bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes y alcohol etílico por cromatografía gas-líquido. Oficina Nacional de Normalización.pp.1-14.
- NC-519: 2007. Bebidas alcohólicas. Determinación de aldehídos totales-Método Químico. Oficina Nacional de Normalización.pp.1-8.
- NC-520: 2007. Bebidas alcohólicas-Determinación de ésteres totales. Método Colorimétrico. Oficina Nacional de Normalización.pp.1-10.
- NC-534: 2007. Bebidas alcohólicas-Determinación de ésteres totales. Método de Saponificación. Oficina Nacional de Normalización.pp.1-8.
- NC-535: 2007. Bebidas alcohólicas-Determinación de alcoholes superiores. Método Espectrofotométrico. ININ/ Oficina Nacional de Normalización.pp.1-9.
- NC-792. Alcohol etílico. Requisitos. ININ/ Oficina Nacional de Normalización.pp.1-17.2015.
- Nivas, N. (1993). Sistema de secado de madera de roble para tonelería, Viti Vinicultura. pp. 26-31.
- ONISHI, M. 1977. Changes in some volatile constituents of brandy during aging, Enol. Vitic.
- Página Oficial de Havana Club S. A. [Online]. Available: <http://www.havana-club.cu>.
- Palacios, A. (2016). Agua desmineralizada. [Online]. Disponible: <https://www.lenntech.es>
- Panagopoulos, A., Haralambous, K. J., Loizidou, M. (2019). Desalination brine disposal methods and treatment technologies. A review. *Science of the total Environment* 693: 133545, ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.351
- Parfait, A. 1975. *Formation of higher alcohols in rum, Annales deTechnologie Agricole*. pp. 15-19.

- Partido Comunista de Cuba. (2017). Lineamientos de la Política Social y Económica del Partido y la Revolución. La Habana: PCC
- Pérez Barquero, S. A. (2019). Los aguardientes: definición, origen y tipos. ¿Qué son los aguardientes? [Online]. Disponible: <http://www.alambiques.com/aguardientes.htm>
- Peters M., Timmerhaus K.D. (1978) *Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos*. Editorial Géminis S.R.L.
- Peters, Max S.; Timmerhaus, Klaus D. (1991). Plant design and economics for chemical engineers. 4th Edition. University of Colorado: Ed. McGraw - Hill.
- Queris, O. (2007). Ciencia y Tecnología de Bebidas Destiladas, Ronés. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- Ramírez, N. (2016). El ron y sus características. España. [Online]. Disponible: <http://www.alambiques.com>
- Reazin, G. H. (1969). Formation of major congeners during fermentation, American Chemical Society. pp. 45-52.
- Reazin, G. H. (1976). Determination of the congeners produced from ethanol during whisky maturation. J. of AOAC, 59.
- René (2020). Como se hace el ron cubano. Origen, ingredientes y proceso de elaboración. [Online]. Disponible: www.visitcubago.com.
- Reza, M., Yun, C., Afroze, S., Radenahmad, N., Bakar, M., Saidur, R., Taweekun, J. y Azad, A. (2020). Preparation of activated carbon from biomass and its' applications in water and gase purification, a review. *Arab journal of basic and applied sciences*. 208-238. DOI: 10.1080/25765299.2020.1766799
- Riaño La Rotta, A. C., (2012). Clasificación y elaboración de las bebidas alcohólicas. En Jairo Téllez Mosquera, (ED), Aspectos toxicológicos, psicológicos y sociales relacionados con el consumo de bebidas alcohólicas (pp. 92-93).
- Rivero Gutiérrez, H. L. (2019). Diseño preliminar de una mini-industria para el procesamiento de frutas. (Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del título de master en ingeniería asistida por computadora, Universidad de Matanzas). pp.144.

- Rodríguez, A., Rosabal, P. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.
<https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.pdf>
- Rodríguez, E., Almeida, O., Fernández, H., Moraes, D., Reis, M. (2019). Adsorption of chromium (VI) on hydrotalcite-hydroxyapatite material doped with carbon nanotubes: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *Journal of Applied clay science*. 57-64. DOI: 10.1016/J.CLAY.2019.02.018
- Rus Arias, E. (2020). Costo de producción. Qué es, definición y concepto.
<http://www.economipedia.com>
- Rustam, L., Jeremias, F., Henninger, S., Wolff, T., Munz, G. (2019). Tuning of adsorbent properties – oxidative hydrophilization of activated carbon monoliths of heat storage applications. *Journal of Energy and buildings*. Pp. 206-213. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.05.024
- Sánchez, N. (2016). Rones del mundo. [Online]. Disponible:
<http://www.jmarcano.com>
- Salgado, R. (2015). Mercado cubano del ron. Cuba Ron S.A. [Online]. Disponible:
<http://www.marketing4food.com>
- STF. (2017). STF filtros. [Online]. Disponible: <http://www.stffiltros.com/es/filtros-arena>
- Solis Vázquez-Mellado, M. (2017). Sistema de tratamiento de aguas mediante osmosis inversa. (Trabajo de Diploma para obtener título de Ingeniero Mecánico, Universidad Autónoma de México). pp 12-35.
- Suomalainen, H. 1980. *Aroma origin in alcoholic beverages, Nahrung*. pp. 65-78.
- Tang, L., Sun, L., Zhao, P., Kong, D. (2019). Effect of activated carbon nanoparticles on lymph node harvest in patients with colorectal cancer. *Journal of Colorectal disease*. 427-431. DOI: 10.1111/codi.14538
- Turton, R. (1998). *Synthesis and Design of Chemical Processes*. New Jersey: Prentice Hall, PRT.
- Turton, R., et al. (2018). *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. 5th Edition. West Virginia: Ed. Prentice Hall. 1 549 p.

- Tovar, M.E. (2009). Diseño de plantas de proceso. Unidad 3: Estimación de costos en plantas químicas. Rescatado de artículos de la revista Ingeniería Química (I), (II), (III). Sept-Nov. 1991.
- Ugwu, E. y Agunwamba, J. (2020). A review on the applicability of activated carbon derived from plant biomass in adsorption of chromium, copper, and zinc from industrial wastewater. *Journal of Environmental monitoring and assessment*. pp. 1-12. DOI: 10.1007/s10661-020-8162-0
- Üner, O., Bayrak, Y. (2018). The effect of carbonization temperature, carbonization time and impregnation ratio on the properties of activated carbon produced from *Arundo donax*. *Journal of Microporous and mesoporous materials*. DOI: 10.1016/j.micromeso.2018.04.037
- Vázquez, M, et al. (2012). Manual de Técnicas Analíticas para las Destilerías. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. edit.: 1th. pp.122.
- Viquez, J. (2015). Diálisis gastrointestinal con carbón activado. [Online]. Disponible: http://edumed.imss.gob.mx/pediatria/toxico/boletin_carbon_activado.pdf.
- Zhang, B. y Wang, D. (2019). Preparation of biomass activated carbon supported nanoscale zero-valent iron (Nzvi) and its application in decolorization of methyl orange from aqueous solution. *Journal of Water*. DOI: 10.3390/w11081671

Anexos.

Anexo 1: Normas estipuladas en la Gaceta Oficial No. 12 del 2019

PRIMERO: Establecer como requisitos tecnológicos a cumplir en la producción con destino a la exportación y al mercado nacional de rones cubanos con clasificación y sin clasificación, los siguientes:

1. El aguardiente, el destilado para ron (o destilado de caña) y el alcohol serán los destilados obtenidos a partir de los mostos fermentados de los jugos y melazas de la fabricación del azúcar de caña cultivada y procesada en Cuba. En ningún caso podrán emplearse, en proporción alguna, destilados de otros orígenes.

2. El aguardiente para añejar ha de mantener el perfil aromático que siempre lo ha caracterizado y en consecuencia requerirá del control de la fermentación y de la destilación que aseguren las siguientes características y condiciones:

a) El aguardiente destilado resultante estará formado por mezclas parciales de condensados nunca menores de 74 % de alcohol en volumen y tampoco mayores de 76 % de alcohol en volumen, y solo se obtendrá de la destilación continua y directa del mosto fermentado.

b) La columna destiladora para aguardiente tendrá que garantizar obligatoriamente el necesario contacto con el cobre.

c) El aguardiente tendrá la siguiente composición expresada en g / Hl a. a.
Acidez.....10 – 30

Esteres.....10 – 50

Alcoholes superiores.....200 – 400

d) La concentración de alcoholes superiores estará regulada por el cultivo de levadura, tipo y concentración de sales nutrientes y por el grado de fermentación secundaria, de tal manera que se garantice que la concentración de alcohol iso-

amílico no sea nunca mayor a 2,5 veces la suma de las concentraciones de los alcoholes iso-butílico y n-propílico.

3. Las melazas empleadas en los procesos de fermentación para la obtención del aguardiente, el destilado para ron (o destilado de caña) y el alcohol, cumplirán con las especificaciones de la norma cubana correspondiente.

4. El destilado para ron (o destilado de caña) y el alcohol tendrán un por ciento de alcohol en volumen a 20°C, mayor de 94,4 % y menor de 96 %.

5. En la elaboración del ron deben incluirse al menos dos etapas de añejamiento, la primera para el aguardiente a 74 % hasta 76 % de alcohol en volumen y la segunda para el ron base a 40 % hasta 60 % de alcohol en volumen, exceptuando esta última etapa para Ron Carta Plata, Silver Dry y para el Ron sin clasificación.

6. El ron base lo constituye una mezcla de aguardiente añejado con destilado para ron (destilado de caña) y agua desmineralizada o suavizada, según sea el caso, cuyas proporciones de mezcla garanticen la graduación alcohólica establecida así como la composición de aguardiente suficiente para garantizar el perfil organoléptico del ron cubano.

7. Se define el añejamiento, la maduración o el envejecimiento como la operación tecnológica que se conduce en recipientes apropiados y que procura únicamente el contacto de los destilados (o sus mezclas) con madera de roble blanco y que, como consecuencia, produce una serie de reacciones que se desarrollan naturalmente, las que provocan una transformación de las propiedades organolépticas originales de los destilados.

8. Se considera tiempo de añejamiento, maduración o envejecimiento, el número de meses o años cumplidos a partir de la fecha en que se inició el proceso de añejamiento.

9. El añejamiento del aguardiente será realizado exclusivamente en barriles de roble blanco de hasta 250 litros de capacidad.

10. El añejamiento de los rones bases, en su segunda etapa, deberá hacerse en barriles de roble blanco de hasta 500 litros de capacidad.

11. En el caso de que mezclas de rones bases añejados se sometan a una tercera etapa de añejamiento, este solo se hará en barriles de roble blanco de hasta 500 litros de capacidad.

12. Los por cientos de alcohol en volumen neto de aguardiente añejado en el producto final han de ser como mínimo el 6 % del alcohol total en los rones Carta Plata y Silver Dry; el 8 % para los rones Refino, Palma y rones sin clasificación; el 10 % en los rones Añejo Blanco, Carta Blanca o Añejo Ambarino y Carta Oro, y nunca menor al 18 % en el resto de los rones. Para el caso del Ron Extra Seco deberá ser el 100 %.

13. Los porcentos de alcohol en volumen neto de aguardiente en los rones sin clasificación deberán ser añejados como mínimo seis (6) meses; para los rones Carta Plata, Silver Dry, Refino, Palma y Añejo Blanco al menos un (1) año; para los rones Carta Blanca o Añejos Ambarinos, Carta Oro y Reserva no menos de uno y medio (1,5) años; para los Añejos Oscuros no menos de dos (2) años, y para los Extra Añejo y el Extra Seco no menos de cuatro (4) años. En todos los casos en barriles de roble blanco.

14. La edulcoración de los rones será realizada con azúcar refino de origen de caña de azúcar, cultivada y procesada en Cuba. El límite máximo en el producto final no podrá exceder los 20 gramos por litro expresados como azúcar invertido.

15. El color de los diferentes rones, exceptuando el Carta Plata y el Silver Dry, podrá normalizarse con la adición de colorante de caramelo de origen de caña de azúcar, considerando lo establecido en la norma cubana NC para aditivos alimentarios.

16. Los rones con clasificación son los siguientes: Refino, Palma, Silver Dry, Añejo Blanco, Carta Blanca o Añejo Ámbar, Carta Oro (Oro, Añejo Oro o Dorado), Añejo Reserva, Añejo Oscuro o Añejo, Extras o Extra Añejo y Extra Seco. El resto se consideran rones sin clasificación.

SEGUNDO: Establecer que las características organolépticas de los rones serán evaluadas según los procedimientos de evaluación sensorial establecidos, tomando como referencia los patrones tradicionales de añejamiento del ron cubano.

TERCERO: Establecer para los diferentes tipos de ron y sus denominaciones permisibles, exceptuando los rones Carta Plata, Silver Dry y los rones sin clasificación, la participación de rones bases añejados en barriles de roble blanco de hasta 500 litros de capacidad, expresados a 40 % de alcohol en volumen, tal y como se expresa a continuación:

Refino: Participación de un 15 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de seis (6) meses.

Palma: Participación de un 20 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de seis (6) meses.

Añejo Blanco: Participación de un 25 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de seis (6) meses.

Carta Blanca o Añejo Ámbar: Participación de un 40 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de nueve (9) meses.

Carta Oro, Oro, Añejo Oro o Dorado: Participación de un 50 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de nueve (9) meses.

Añejo Reserva: Participación de un 6 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de cinco (5) años.

Añejo Oscuro o Añejo: Participación de un 4 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de seis (6) años y ningún componente menor de seis (6) meses.

Extras o Extra Añejo: Participación de un 12 % como mínimo de rones añejados por un tiempo mínimo de siete (7) años y ningún componente menor a dos (2) años.

Extra Seco: Participación del 100 % de ron base para Extra Seco por un tiempo mínimo de dos (2) años.

Estos tiempos mínimos son válidos siempre y cuando estén certificados institucionalmente y cumplan con los requisitos sensoriales que caracterizan a cada tipo de ron.

CUARTO: No es obligatorio declarar la edad en las etiquetas; no obstante, cuando se declare se hará en correspondencia con la edad del componente alcohólico más joven de la mezcla.

QUINTO: No se permiten las siguientes prácticas:

a) La fabricación de ron de forma directa (o ron de una sola etapa de añejamiento), es decir, sin el añejamiento del aguardiente como está establecido y la segunda etapa de añejamiento obligatoria para los rones bases, con la excepción de los rones Carta Plata, Silver Dry y los rones sin clasificación.

b) La adición de sustancias aromatizantes artificiales que traten de imitar el añejamiento natural.

c) Cualquier práctica física o química tendente a imitar, sustituir o acelerar el tiempo de añejamiento natural en los recipientes apropiados que procuran el contacto con la madera de roble que se emplea para el añejamiento, la maduración o el envejecimiento.

d) La adición de edulcorantes artificiales, colorantes diferentes al caramelo de sacarosa originada de la caña de azúcar, esencias y bonificadores naturales, artificiales o parcialmente artificiales.

No obstante, podrán utilizarse macerados y extractos de origen agrícola siempre que no modifiquen las características organolépticas del ron, y sin que se exceda del dos (2) por ciento de la composición del producto final, excepto para los rones destinados a mercados que no admiten estas prácticas. En caso de su utilización debe declararse en la etiqueta la composición del producto en correspondencia con lo establecido en la norma cubana NC 108.

SEXTO: Los rones que se produzcan en Cuba y no cumplan con lo establecido no podrán comercializarse.

SÉPTIMO: Se dispone la realización de inspecciones tecnológicas y de calidad que tomen en cuenta:

a) La evaluación de la producción de aguardiente; el análisis de la correlación de las existencias de aguardientes y rones en añejamiento en bodegas; la producción de rones por cada tipo y la evaluación sensorial de las bases añejas y de los productos finales.

b) Los cálculos de las edades de la gota mínima de aguardiente y su proporción en el producto terminado; este cálculo se hará mediante un programa que a tal efecto se dispondrá por la Dirección de Calidad y Tecnología de este Ministerio.

c) Estas inspecciones se realizarán a cada fábrica al menos cada dos (2) años o con la frecuencia que establezca la Dirección de Calidad y Tecnología de este Ministerio atendiendo a las condiciones y necesidades del país.

OCTAVO: Los grupos de inspección estarán constituidos por especialistas del órgano de inspección del MINAL, la Oficina Nacional de Inspección Estatal y otros especialistas que dominen los aspectos tecnológicos y de calidad; será responsabilidad del director de dicha Oficina la selección de los especialistas.

NOVENO: Encargar al director de la Oficina Nacional de Inspección Estatal proponer a la titular del organismo las acciones a tomar en las entidades productoras o embotelladoras inspeccionadas que no cumplan lo que por la presente Resolución se establece.

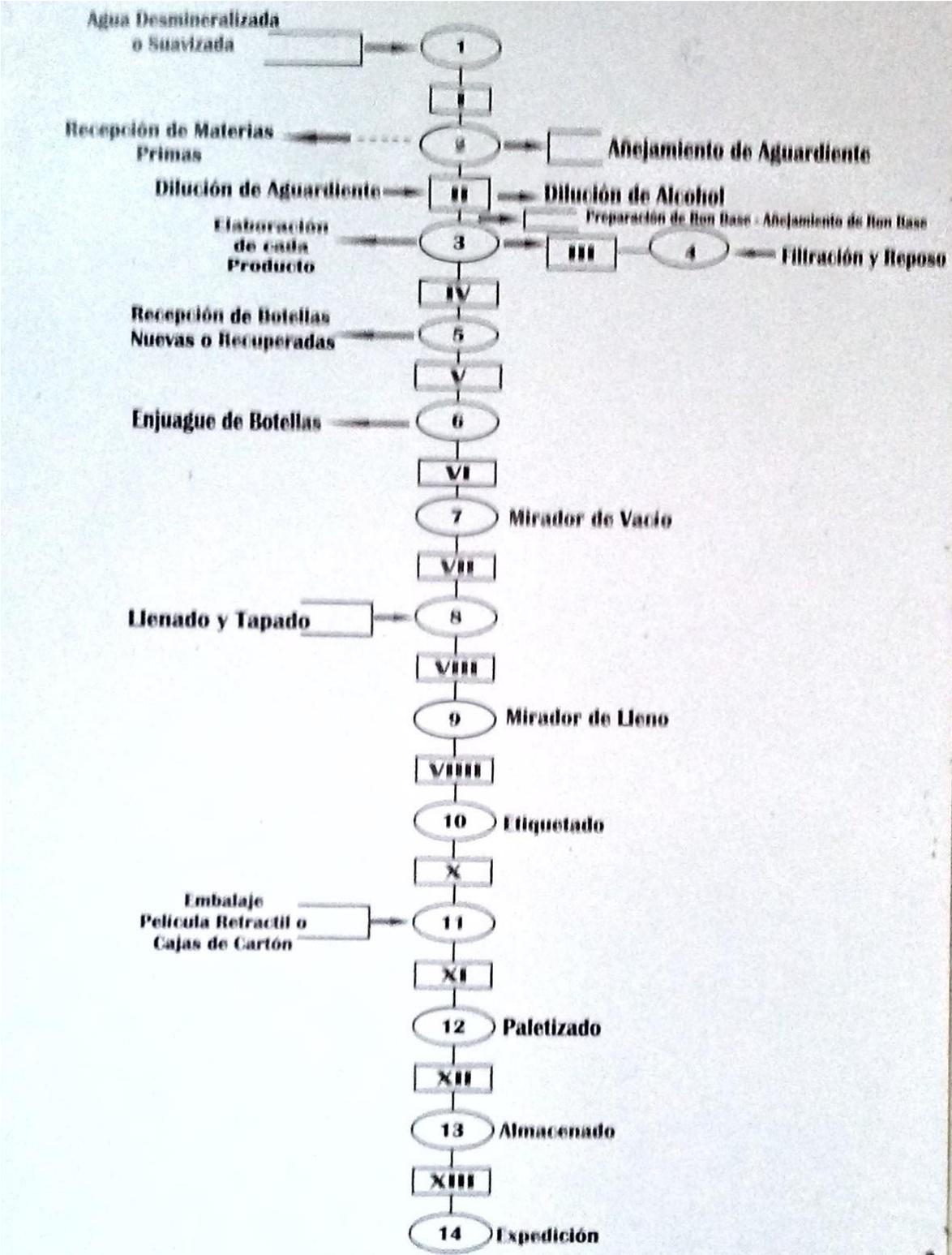
DÉCIMO: Se derogan las resoluciones No. 135 de 17 de octubre de 2001 y No. 374 de 22 de septiembre de 2008, del ministro del extinto Ministerio de la Industria Alimenticia.

UNDÉCIMO: Lo dispuesto por la presente surte efecto legal treinta días después de su publicación en la Gaceta Oficial de la República de Cuba.

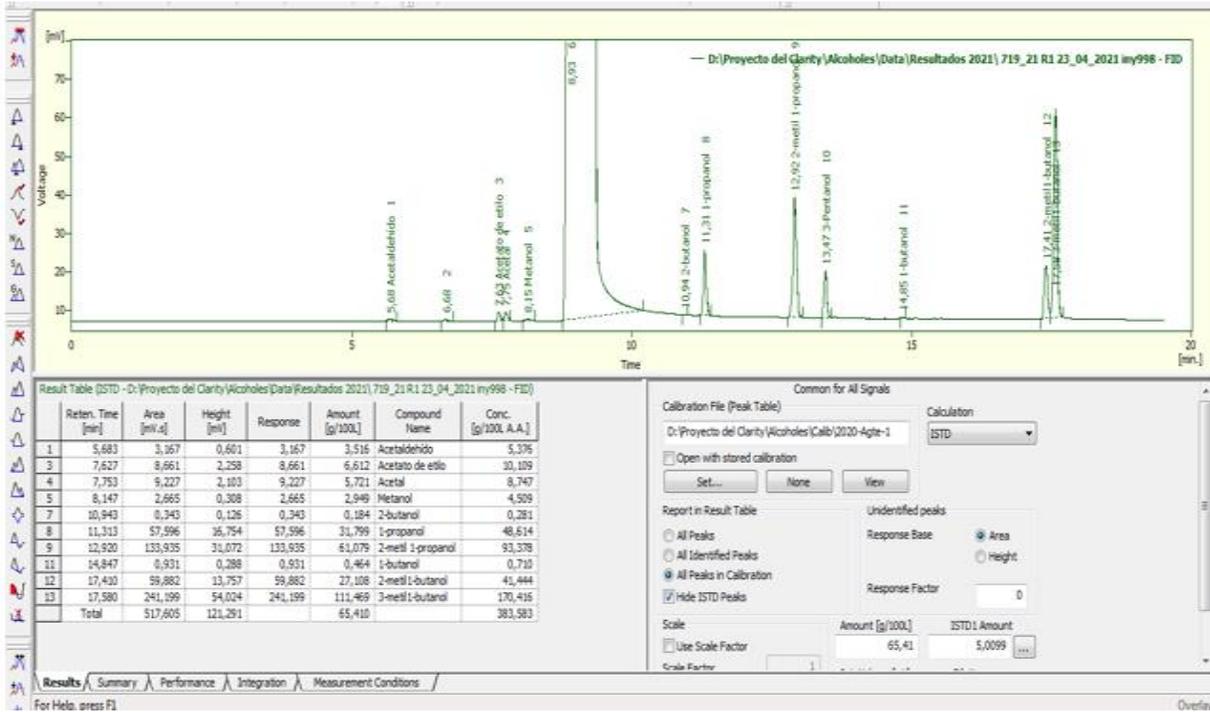
Anexo 2: Tanque para mezclar los rones bases y el compresor utilizado para la inyección de aire.



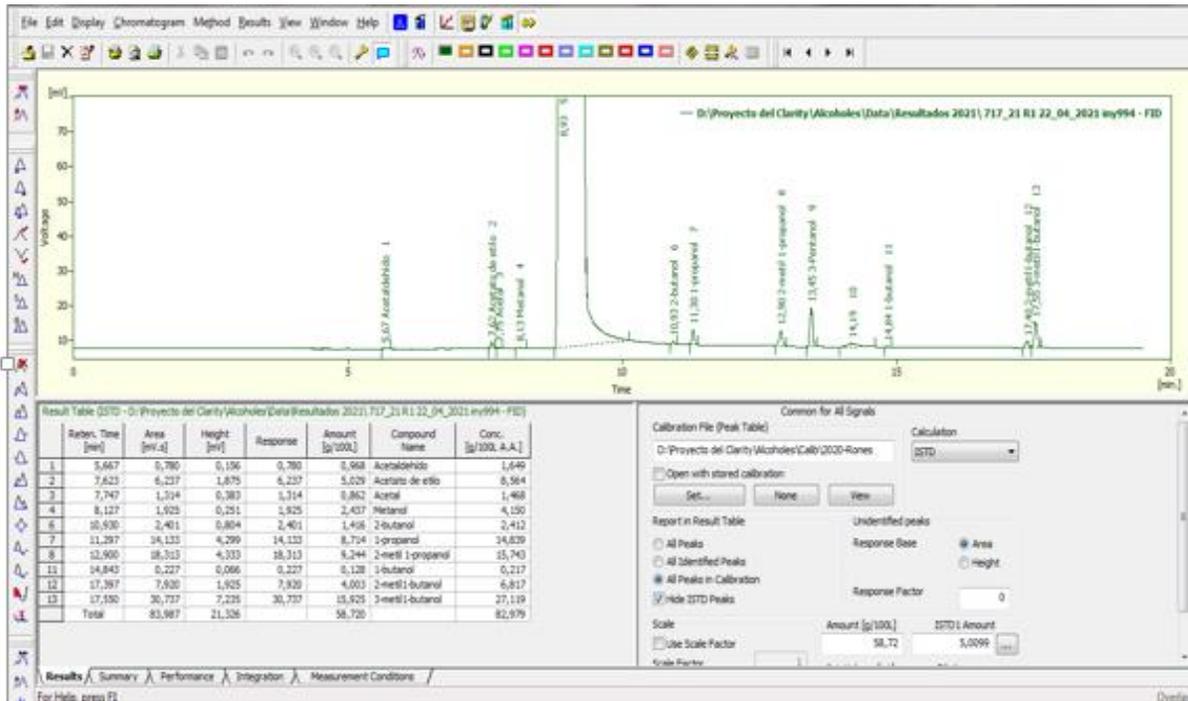
Anexo 3: Diagrama de flujo del proceso de producción de ron en la empresa Ron Yucayo.



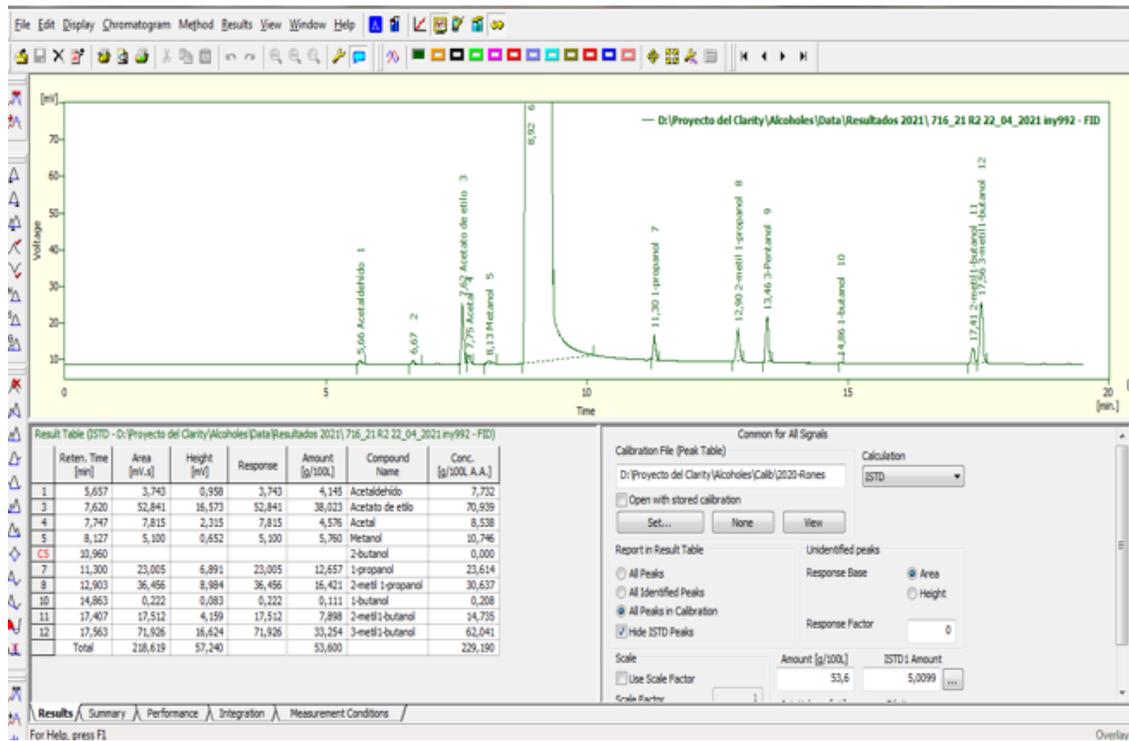
Anexo 4: Cromatogramas del Aguardiente.



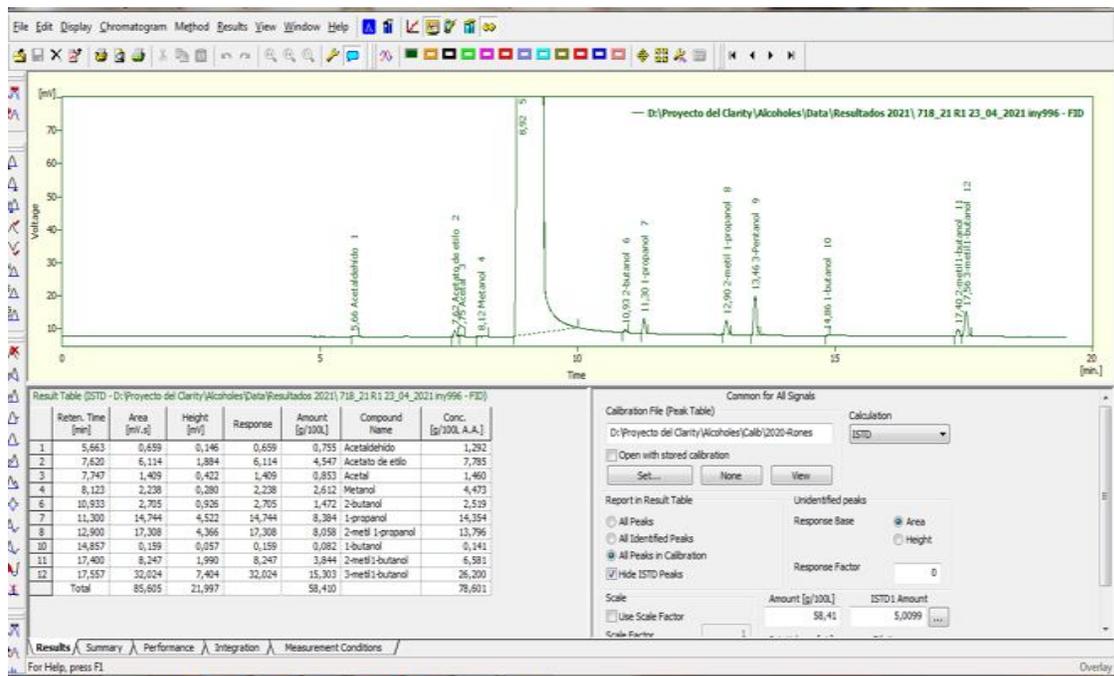
Anexo 5: Cromatogramas de la base blanca de 1 año de añejamiento.



Anexo 6: Cromatogramas de la base blanca de 5 años de añejamiento.



Anexo 7: Cromatogramas de la base blanca de 1 año + Malta.



Anexo 8: Características físicas, químicas y bacteriológico del agua y métodos para su detección.

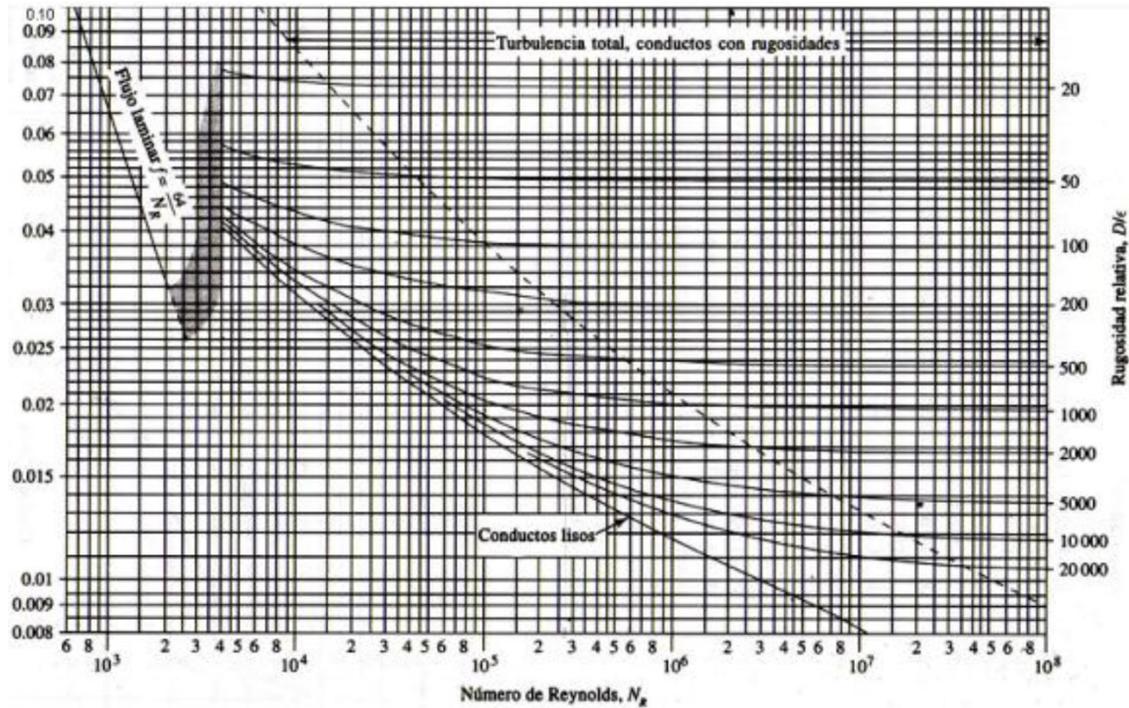
Nombre	Método
Potencial de hidrogeno	SMWW4500B electrométrico
Conductividad eléctrica	SMWW2510B Método de Laboratorio
Calcio	SMWW3500B Método de valoración con EDTA
Magnesio	SMWW3500B Método de calculo
Sodio	Método fotométrico de emisión con llama
Potasio	Método fotométrico de emisión con llama
Carbonato	SMWW2320B Método de valoración
Hidrogeno carbonatado	SMWW2320B Método de valoración
Cloruro	SMWW4500B Método argento métrico
Nitrato	MEEAADB Método colorimétrico (Brucina)
Nitrito	SMWW4500B Método colorimétrico
Amonio	SMWW4500F Método de fenato
Fosfato	SMWW4500B Método colorimétrico
Sulfato	NC 93-01-118:87 Método turbidimétrico
Sólidos disueltos totales	Método de calculo
Sólidos sedimentables	Método de solidos sedimentables

Oxígeno disuelto	SMWW4500B Método lodo métrico
Dureza total	SMWW2340B, C Método de cálculo y de valoración
Turbidez	Método Turbidimétrico
Alcalinidad	Método de calculo
Temperatura	Método electrométrico
Grasas y aceites	Método visual, cualitativo
Demanda bioquímica de oxígeno	Incubación
Demanda química de oxígeno	Autoclave por oxidación con dicromato de potasio
Coliformes totales y termo tolerantes	SMWW9221B, E Técnica d los tubos múltiples de fermentación para miembros del grupo Coliformes

Anexo 9: Material, tipos y datos de trabajo de las membranas.

<i>Material</i>	<i>Tipo membrana</i>	<i>Coefficiente de rechazo (%)</i>	<i>Presiones de trabajo (bar)</i>
CA Acetato de celulosa (40 % de acetato)	Loeb-Sourirajan	95 -98	50 - 90
Poliamidas aromáticas	Loeb-Sourirajan	>99.5	
NTR (nanofiltración) Polisulfonas/alcohol polivinílico	Loeb-Sourirajan	20 - 80	3.5 - 14
NS100 Polietilenamina/tolueno	composite	>99	100
FT-30/SW-30	composite	99.3 -99.5	55
Fenilendiamina/cloruro de trimesolil		>99	15

Anexo 10: Diagrama de Moody



Anexo 11: Valores de rugosidad en las tuberías.

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}