

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a person in a red and white garment, possibly a saint or a historical figure, standing on a green hill. Above the figure is a blue sky with white clouds and a yellow sun. The entire scene is enclosed within a circular border containing Latin text. The text at the top reads "CAROLINA ACQUA" and "ORBIS CONSPICUA". The text at the bottom reads "CATTARAUGUS INTER" and "MAZATENANGO".

**RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAUDAL DE ALIMENTACIÓN Y
TURBIDEZ INICIAL PARA REDUCIR EL TIEMPO DE FILTRACIÓN DE RON
AÑEJO, EN UNA INDUSTRIA PRODUCTORA DE RONES DE GUATEMALA**

SIGRID WALESKA GRAMAJO LÓPEZ

2010 40317

MAZATENANGO, MAYO 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAUDAL DE ALIMENTACIÓN Y
TURBIDEZ INICIAL PARA REDUCIR EL TIEMPO DE FILTRACIÓN DE RON
AÑEJO, EN UNA INDUSTRIA PRODUCTORA DE RONES DE GUATEMALA**

SIGRID WALESKA GRAMAJO LÓPEZ

2010 40317

sigridgram_88@hotmail.com

MAZATENANGO, MAYO 2017

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Suroccidente

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario del Suroccidente

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano

Director

Representante de Profesores

MSc. José Norberto Thomas Villatoro

Secretario

MSc. Mirna Ninenth Hernández Palma

Vocal

Representante Graduado del CUNSUROCC

Lic. Ángel Estuardo López Mejía

Vocal

Representantes Estudiantiles

Lcda. Elisa Raquel Martínez González

Vocal

Br. Irrael Esduardo Arriaza Jerez

Vocal

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

MSc. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa

Coordinador Carrera Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Luis Carlos Muñoz López

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Ph.D. Marco Antonio del Cid Flores

Coordinador Carrera Ingeniería en Agronomía Tropical

MSc. Jorge Rubén Sosof Vásquez

Coordinadora Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

Lcda. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Inga. Agra. Iris Yvonne Cárdenas Sagastume

Coordinador de Área

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA CUNSUROC

Coordinadora de las Carreras de Pedagogía

Lcda. Tania Elvira Marroquín Vásquez

Coordinadora Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la comunicación.

MSc. Paola Marisol Rabanales

ACTO QUE DEDICO

A DIOS	Por ser la fuente de sabiduría y luz que ha guiado mi vida.
A MIS PADRES	Por su apoyo, amor y consejos durante toda mi formación académica y como persona. Este sueño cumplido es para ustedes.
A MI HERMANO	Por su amor, comprensión y motivarme a cumplir todos mis sueños.
A MIS ABUELOS	Zoila y Luis Ricardo, por ser los pilares que han sostenido mi vida desde el primer momento de mi existencia, este triunfo es para ustedes.
A MIS TÍOS	Por su cariño, en especial a Tío Luis por su apoyo incondicional y a mi Tía Karla gracias por los momentos compartidos durante toda mi vida y ante todo por ser mi amiga.
A MIS PRIMOS	Ricardo, Sofía, Luis Enrique y Arturito, gracias por ser amigos, cómplices y hermanos.
A LA UNIVERSIDAD	Mi gloriosa alma mater que me albergó y brindó el conocimiento, las destrezas y formación para desarrollarme como profesional.

AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE

Fuente de inspiración para poder culminar esta etapa de mi vida profesional, por tu amor que me ha guiado hasta hoy y por ser un ejemplo de lucha incansable, hoy tus sacrificios tienen su fruto.

A LOS DOCENTES

Profesionales que compartieron sus conocimientos y han guiado mi carrera profesional, en especial a Msc. Astrid Argueta y Msc. Aldo de León por su paciencia y orientación en la realización de este trabajo.

Índice

Contenido	Página
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Planteamiento del problema.....	5
Justificación	7
Objetivos.....	9
General.....	9
Específicos	9
Hipótesis	10
1. Marco Teórico.....	11
1.1. Filtración	11
1.2. Medios filtrantes	15
1.3. Torta filtrante	16
1.4. Tratamiento preliminar de las suspensiones antes de la filtración	16
1.5. Coadyuvantes de la filtración	17
1.6. Equipo.....	18
1.7. Fundamentos de la filtración en torta	26
1.8. Efectos prácticos de las variables de filtración	28
1.9. Proceso productivo de rones.....	29
2. Marco Operativo	32
2.1. Previo al muestreo	32
2.1.1. Medio filtrante	32
2.1.2. Armado del filtro de placas y marcos	32

2.1.3. Pre-capas.....	32
2.1.4. Materiales y equipo.....	33
2.2. Muestreo	33
2.2.1. Variables de control	33
2.3. Tratamiento.....	35
2.3.1. Prueba piloto	36
2.3.2. Pruebas experimentales	37
2.4. Métodos	40
3. Recursos	42
4. Resultados y Discusión de Resultados.....	43
Conclusiones	57
Recomendaciones	58
Referencias Bibliográficas.....	59
Anexos.....	62
1. Análisis de turbidez	62
Apéndices	64
1. Datos obtenidos en la prueba piloto	64
2. Datos obtenidos en las pruebas experimentales	65
3. Condiciones de operación en cada corrida.....	66
Glosario	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Variables control.....	34
Tabla 2. Variables Independientes	35
Tabla 3. Variables Dependientes	35
Tabla 4. Prueba piloto	37
Tabla 5. Pruebas experimentales.....	39
Tabla 6. Condiciones de Operación	39
Tabla 7. Resultados del comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración de un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 142 L/h.....	44
Tabla 8. Resultados del comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración de un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 722 L/h.....	46
Tabla 9. Resultados del comportamiento la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 595 L/h.....	48
Tabla 10. Resultados del comportamiento la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 886 L/h.....	50
Tabla 11. Matriz resultante	53
Tabla 12. Datos prueba piloto	64
Tabla 13. Datos en el muestreo	65
Tabla 14. Datos condiciones de operación.....	66

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama del sistema de filtración	11
Figura 2. Clasificación de la filtración	14
Figura 3.Filtro de placas y marcos	22

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 142 L/h	45
Gráfica 2. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 722 L/h	47
Gráfica 3. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 595 L/h	49

Resumen

La investigación tuvo como objetivo principal relacionar las variables de turbidez inicial y caudal de alimentación para lograr una reducción del tiempo de filtración de ron añejo, en una industria productora de rones en Guatemala. La importancia de la operación de filtración dentro del proceso de rones añejos radica en que es en ésta operación donde se elimina cualquier tipo de contaminante generado dentro de toda la cadena productiva de rones, siendo éstos principalmente restos de madera, el análisis que se realiza en el proceso de filtración es la medición de la turbidez, la cual se da en Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–.

El tiempo de operación de filtración debe ser el mínimo posible sin afectar la calidad del producto, ya que si se mantiene la operación por largos períodos de tiempo representa costos elevados, incidiendo principalmente en costos de mano de obra y costo de operación, sin embargo, la prioridad era garantizar que, aunque se disminuyera el tiempo de filtración la calidad del producto no se vería afectada y se encontraría por debajo del límite máximo permisible de Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–.

Con la realización de la investigación se pudo determinar el caudal óptimo, en el cual se reduce el tiempo de operación sin afectar la calidad de la base de ron añejo, además de conocer el comportamiento durante toda la operación de la turbidez final en gráficas turbidez – tiempo, todo esto con la finalidad de estandarizar la operación y minimizar los gastos de operación y de mano de obra.

Abstract

The main objective of the investigation was to relate the variables of initial turbidity and feed flow to achieve a reduction of the filtration time of rum in a rye production industry in Guatemala. The importance of the filtration operation within the process of aged rums is that it is in this operation where any type of contaminant generated within the entire productive chain of rums is eliminated, being these mainly wood residues, the analysis carried out in the filtration process is the turbidity measurement, which is given in Turbidity Nephelometric Units -NTU-.

The filtration operation time should be the minimum possible without affecting the quality of the product, because if the operation is maintained for long periods of time represents high costs, mainly affecting labor costs and operating cost, however, the priority was to ensure that, even if the filtration time was reduced, the quality of the product would not be affected and would be below the maximum permissible limit of Nephelometric Turbidity Units -NTU-.

With the realization of the investigation, it was possible to determine the optimal flow rate, in which the operating time is reduced without affecting the quality of the aged rum base, besides knowing the behavior during the entire operation of the final turbidity in graphs turbidity - time, all this to standardize the operation and minimize the costs of operation and labor.

Introducción

Guatemala es un país que se ha caracterizado por la producción de finos rones añejos, los productos que se elaboran compiten a nivel mundial y han sido reconocidos entre los mejores; especialmente por sus propiedades organolépticas. Actualmente los rones de Guatemala se venden tanto a nivel local como mundial, siendo este último el principal mercado del producto (Grupo Amanuense, 2014).

Los rones son bebidas alcohólicas elaboradas a partir del jugo de caña de azúcar, jarabe concentrado de este jugo o melaza –en ambos casos fermentados– el cual pasa a torres de destilación para obtener el alcohol. Estos productos pueden o no estar añejados, cuando se añejan se introducen regularmente en barriles de roble, en los cuales adquieren sabor, olor y color característicos. (M., 2010, pág. 1)

La filtración es una operación unitaria, que tiene como objetivo eliminar partículas sólidas que se encuentran suspendidas en un líquido o gas, mediante la utilización de medios filtrantes, los cuales retienen éstas partículas. Los medios filtrantes pueden ser de varios materiales como celulosa, arenas o minerales y de diferente tamaño de poro. (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2011, pág. 271)

La filtración dentro del proceso de bebidas alcohólicas forma la etapa previa a ser despachada la base para el ron, por lo cual es importante que esta operación sea eficaz y eficiente, siendo capaz de retener contaminantes que pueden ser generados dentro del mismo proceso. Las bases de rones añejos son susceptibles a la contaminación con restos de madera principalmente, ya que estos pasan un determinado tiempo dentro de las barricas, las cuales en muchas ocasiones han sido reparadas, proceso que incluye cerrar grietas entre duelas con cera.

Existen variedad de filtros, pero en la industria alimentaria, el filtro más utilizado es el filtro prensa de placas y marcos; el cual tiene su fundamento en la presión que se ejerce a unas placas que contienen el medio filtrante por el que pasa el líquido,

la operación de filtración puede llevarse a cabo de dos maneras, siendo la primera a caudal constante mientras que la presión va aumentando y en la segunda se da una caída de caudal mientras se mantiene la presión durante la operación.

La filtración para bases de rones añejos utiliza un filtro prensa de placas y marcos, utilizando como medio filtrante placas de celulosa las cuales tienen una porosidad de 7 micras. Operación de gran importancia debido a que garantiza la inocuidad de la base de ron añejo.

Debido a que no se tenía un tiempo establecido de acuerdo a la turbidez inicial del líquido y caudal de alimentación, además estando sujeta a la experiencia del operador, éste regulaba el caudal de alimentación de acuerdo a la turbidez final lo cual influía en el tiempo de filtración, dando como resultado tiempos prolongados que generaban gastos de operación elevados, por lo cual fue preciso reducir los costos innecesarios y con ello aumentar la eficiencia de la operación.

La reducción de costos se logró ya que al laborar menos horas se disminuyó el tiempo de utilización del filtro impactando principalmente en costos de energía eléctrica y mano de obra evitando laborar horas extras y que el proceso pudiera llevarse a cabo dentro de la jornada laboral de 8 horas.

Por lo anteriormente expuesto, surgió la necesidad de realizar un estudio que determinara la relación de las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial manteniendo una turbidez final menor a 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU– dentro de un óptimo de 0,6 NTU a 1,0 NTU con esto reducir el tiempo de filtración, ya que esto afecta directamente en los costos de operación. Al realizar la investigación se pudo determinar que el caudal óptimo para filtrar la base de ron añejo es de 9 595 L/h teniendo un tiempo promedio de 4 horas para un volumen de 24 000 L y un promedio de turbidez final de la base de ron añejo de 1,0 NTU. Logrando una reducción en energía eléctrica, costo de mano de obra y producción de dióxido de carbono -CO₂- de 33,33%.

Planteamiento del problema

La filtración de bases de ron añejo se realiza de manera discontinua, lotes de 24 000 litros, para llevar a cabo la operación es necesario laborar horas extras ya que la jornada laboral consta de 8 horas y el proceso dura alrededor de 6 horas, lo cual elevaba los costos de operación y de mano de obra, además de llegar a filtrar un lote por cada día laborado. (Fabricación J. d., 2004. Pág.4). La operación está sujeta a la experiencia del operador ya que este determina el caudal de alimentación con el que se trabaja, de acuerdo a la turbidez final lo cual influye directamente sobre el tiempo de filtración, ya que no existe un parámetro establecido sobre el tiempo adecuado de filtración para la turbidez inicial del producto que esté relacionado con el caudal de alimentación.

No tener establecida la relación entre caudal de alimentación y turbidez inicial que mantenga la calidad del producto influye en el tiempo de operación, generando que los gastos de energía y mano de obra sean elevados, ya que se pagan horas extras cuando se realiza esta operación, puesto que es necesario que la base de ron añejo posea una turbidez final menor a 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–, y que además se encuentre dentro de un rango óptimo 0,6 NTU a 1,0 NTU, debido a que es en este rango donde se optimizan las operaciones posteriores.

La operación es eficaz puesto que se mantiene la calidad del producto final, el valor final de turbidez está por debajo del límite máximo permisible, que es de 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–, ya que se obtiene el producto con un promedio de 0,5 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–; pero esto lleva a un tiempo elevado de producción, por lo cual se define que la eficiencia se puede aumentar en función de mejorar el tiempo de filtración mediante la relación de las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial, sin afectar la calidad de la base de ron añejo manteniendo la especificación establecida de 2 NTU máximas de

turbidez final, teniendo como un rango óptimo de turbidez de 0,6 NTU a 1,0 NTU. (calidad C. d., 2015, pág. 15)

Como el valor de la turbidez final se encuentra por debajo del límite, se puede aumentar para reducir el tiempo de filtrado respetando siempre el límite máximo permisible de 2,0 NTU y además mantenerlo dentro del rango óptimo de 0,6 NTU a 1,0 NTU; puesto que después de esta etapa de filtración se le realizan al ron añejo, dos filtraciones más con la diferencia que esta operación se lleva a cabo en frío y que si se mantiene dentro del rango óptimo, estas operaciones se realizan de una manera eficiente.

No existe indicadores de eficiencia para esta operación, por lo cual es necesario que se establezcan controles para hacer esta operación eficaz y eficiente, en el uso de los recursos, impactando principalmente en los costos de operación y en los indicadores medio-ambientales que se tienen establecidos dentro de la producción de rones añejos.

La filtración tiene como finalidad retener partículas generadas dentro del proceso de rones añejos, ya que esto incide en la calidad e inocuidad del producto final, para garantizar la calidad de la base de ron añejo se realizan análisis de turbidez, el cual debe permanecer debajo de 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–. (calidad & fabricación, 2014, pág. 2)

Por lo anteriormente expuesto surgió la interrogante:

¿Es posible reducir el tiempo de filtración encontrando la relación entre el caudal de alimentación y la turbidez inicial manteniendo una turbidez final menor a 2,0 NTU?

Justificación

El tiempo de filtrado es crucial en el indicador de desempeño, al realizar el estudio y lograr establecer una reducción de tiempo a partir de las variables de turbidez inicial y caudal de alimentación manteniendo la turbidez final bajo 2,0 NTU para un lote de 24 000 litros de base de ron añejo a filtrar y dentro del rango óptimo el cual se encuentra dentro de los valores 0,6 NTU a 1,0 NTU, aumentaría el indicador de desempeño, mejorando la productividad del proceso y disminuyendo el costo de producción, no solo por minimizar el tiempo de uso del filtro disminuyendo los costos de energía eléctrica sino además reducir en costos de mano de obra, evitando pagar horas extras a los colaboradores.

Es necesario que se establezca un parámetro que indique el tiempo mínimo relacionando las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial, ya que está basado en la experiencia del operador mediante la regulación del caudal de alimentación, por medio del monitoreo de velocidad de la bomba que alimenta la entrada del filtro, manteniendo el parámetro de calidad que especifica una turbidez menor a 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–, y dentro de un rango óptimo 0,6 NTU a 1,0 NTU.

A partir de este estudio se puede establecer el primer indicador de eficiencia relacionando el tiempo con la turbidez inicial y el caudal de alimentación, teniendo un mejor control de los recursos necesarios para esta operación, siendo principalmente mano de obra y tiempo de operación, haciendo de esta etapa no solo eficaz sino también eficiente y estandarizada ya que no se está sujeto a la experiencia del operador sino a un estudio técnico.

Además, impactando en los indicadores medio-ambientales, generación de dióxido de carbono –CO₂– por energía eléctrica, ya que para producir la energía eléctrica son utilizados combustibles fósiles dando lugar a la liberación de carbono

a la atmósfera que se une al oxígeno presente en ésta, formando CO₂ gas de efecto invernadero.

Debido a que actualmente el valor de turbidez con el que se está obteniendo el ron añejo después del filtrado se encuentra muy por debajo del límite máximo permisible, se puede ampliar dicho valor con la finalidad de reducir el tiempo de filtración, considerando que posteriormente se le realizan dos filtrados más a este producto.

Es necesario asegurar la calidad del producto final evitando reclamos por parte del cliente, el cual convierte la base de ron añejo a ron añejo; aspecto importante ya que si la turbidez final obtenida en esta operación es elevada afecta las filtraciones posteriores realizadas al ron añejo.

Por las razones descritas anteriormente, el estudio es de importancia para aumentar la eficiencia de la etapa de filtración de rones, relacionando las variables de turbidez inicial y caudal de alimentación con el objetivo de reducir el tiempo necesario para filtrar manteniendo la eficacia del proceso, es decir, la turbidez final debe estar debajo del límite máximo permisible de 2,0 NTU, teniendo como óptimo en el rango de 0,6 NTU a 1,0 NTU, para un lote de 24 000 litros de base de ron a filtrar.

Objetivos

General

Relacionar las variables de caudal de alimentación y la turbidez inicial para reducir el tiempo de filtrado de ron añejo, en una industria productora de rones en Guatemala.

Específicos

1. Analizar el comportamiento de la turbidez durante el proceso de filtración en función de la turbidez inicial y el caudal de alimentación.
2. Determinar el caudal de alimentación óptimo de acuerdo a la turbidez inicial, que reduzca el tiempo de filtración y mantenga la turbidez final por debajo de 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–.

Hipótesis

No es posible establecer una relación entre el caudal de alimentación y la turbidez inicial del ron añejo, que reduzca el tiempo de filtración manteniendo una turbidez final por debajo de 2,0 Unidades Nefelométricas de Turbidez –NTU–.

1. Marco Teórico

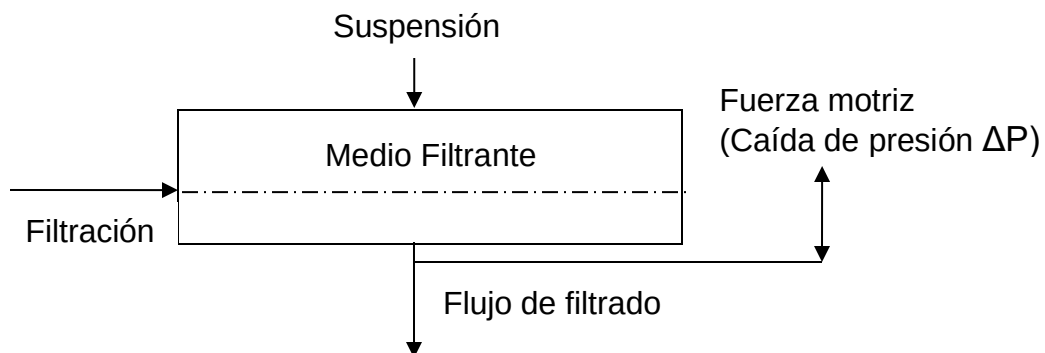
1.1. Filtración

Se define como “la separación de partículas sólidas a partir de un fluido, haciendo pasar el fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos”. (McCabe, Smith, & Harriott, 1991. Pág. 997)

El fluido a filtrar puede ser un gas o un líquido y el producto deseado puede ser el fluido filtrado (libre de sólidos), los sólidos o ambos. La separación de éstos se realiza mediante una separación mecánica o física en el cual se utiliza un medio poroso, también llamado medio filtrante, en el cual se retienen las partículas sólidas (conocida como torta).

Generalmente, los poros tienen una forma tortuosa y deben ser menores a las partículas que se desean separar.

Figura 1. Diagrama del sistema de filtración



Fuente: (Franco, 2013, pág. 6)

Se pueden encontrar tres (3) tipos de filtración:

- Filtración: se denomina filtración cuando los sólidos se encuentran en el gas o líquido en cantidades apreciables, pudiendo ser el producto el sólido, el filtrado o ambos.
- Clarificación: la cantidad de sólidos insolubles es poca y regularmente son indeseables en el filtrado.
- Micro-filtración: los sólidos a separar tienen un tamaño de 0,1mm.

Para obtener el filtrado y este pueda atravesar el medio filtrante puede realizarse mediante el uso de la gravedad o por medio de la presión, esta presión debe ser mayor a la presión atmosférica; aplicando esta fuerza en la parte anterior o posterior del medio.

Se dice también que:

La filtración es una operación de separación sólido-fluido basada en la retención de las partículas de un tamaño superior a un valor dado por una malla filtrante. Se utiliza tanto para aprovechar el sólido presente en la suspensión a filtrar como para disminuir la turbidez de un líquido o partículas suspendidas en un gas. (Costa López, y otros, 2004, pág. 76)

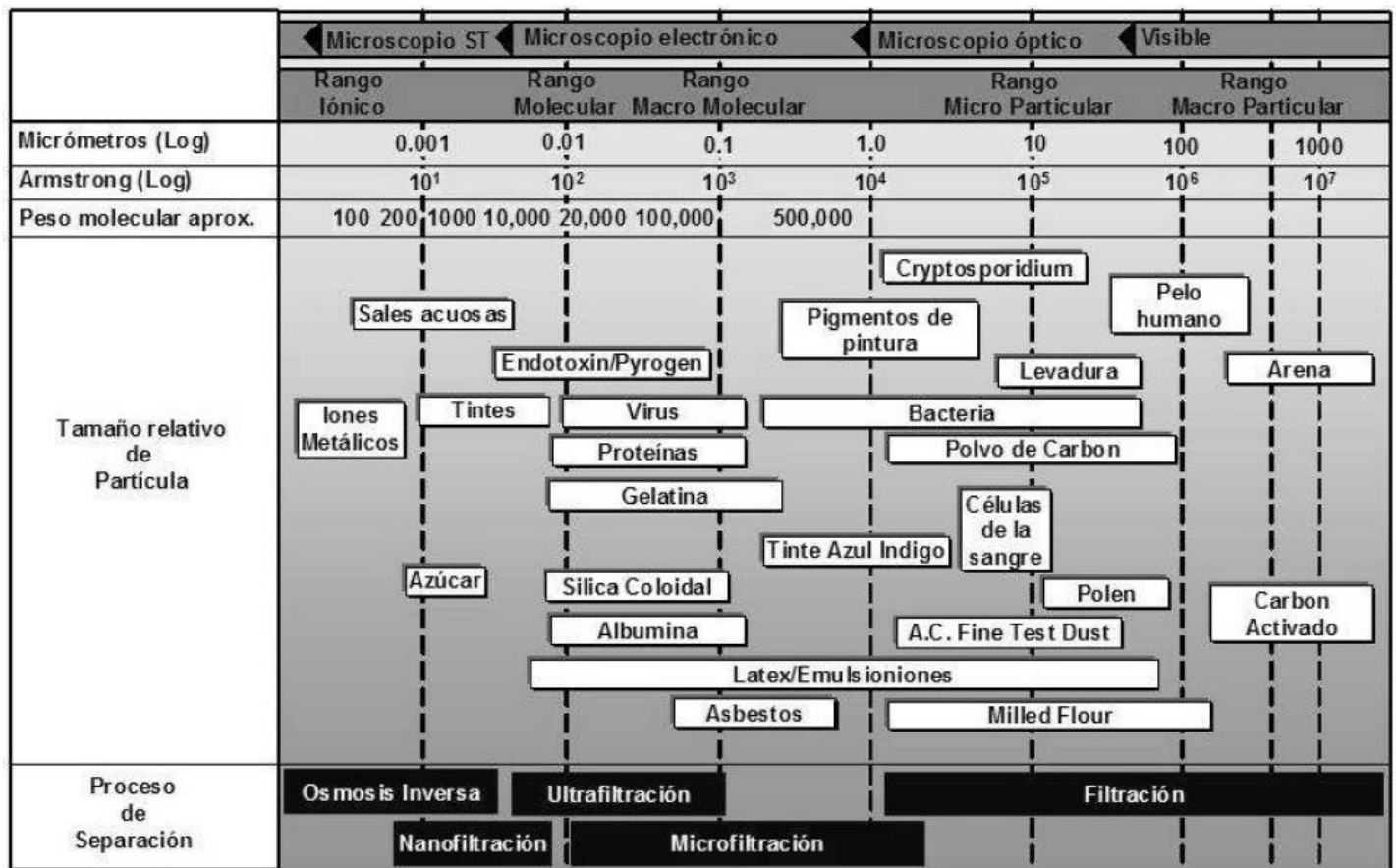
El medio filtrante es una barrera, la cual permite que pase el líquido que se desea filtrar, pero retiene los sólidos que puedan estar presentes dentro del líquido. Este medio puede ser tela, papel, lecho de sólidos o una pantalla.

La filtración puede clasificarse de acuerdo a:

- Fuerza motriz o impulsora: utilizando como fuerzas para mover el fluido en el medio filtrante la gravedad, presión de vacío o presión sobre-atmosférica.

- Mecanismo de filtración: puede hablarse de dos tipos de filtración de torta y el medio filtrante de profundidad o filtración clarificadora, en el primer tipo los sólidos van formando una capa denominada torta la cual va creciendo en su espesor, la segunda atrapa los sólidos en los poros del medio de filtración.
- Función: indica cual es el producto obtenido deseado ya sea el líquido, los sólidos o ambas cosas.
- Ciclo operacional: siendo las opciones continuas o por lotes, siendo su fuerza impulsora por presión constante, velocidad constante o ciclos variables ya sea de presión o velocidad.
- Material a separar: la filtración puede clasificarse de acuerdo al tamaño de partícula que se desea separar. Entonces se puede tener esta subdivisión:
 - ✓ Filtración convencional: también puede llamarse clarificación, separando partículas mayores a 10 micrómetros (μm). Este tipo de filtración se utiliza principalmente en la clarificación de soluciones.
 - ✓ Microfiltración: se llama así cuando es necesario retener partículas que tienen su tamaño entre 0,1 y 10 micrómetros (μm).
 - ✓ Ultrafiltración: se lleva a cabo para la separación de macromoléculas mediante la utilización de membranas, el tamaño de partículas a separar en este tipo de filtración es entre 0,001 a 0,1 μm .
 - ✓ Ósmosis inversa: utilizada para separar iones de soluciones, con un tamaño de separación de partículas comprendido entre 0,001 a 0,0001 μm mediante la utilización de membranas.

Figura 2. Clasificación de la filtración



Fuente: (Arévalo, 2009, pág. 6)

Resumiendo, se puede decir que los filtros se dividen en tres grupos principales: filtros de torta, filtros clarificados y filtros de flujo transversal. Los filtros de torta son utilizados para la separación de grandes cantidades de sólidos presentes en un líquido, los filtros clarificadores son utilizados principalmente en la industria de bebidas eliminando pequeñas cantidades de sólidos ya sea en líquidos o gases, los filtros de flujo transversales pueden utilizarse para grandes velocidades en el flujo el cual mantiene la torta que retiene los sólidos (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 1056)

Para poder seleccionar la operación y el equipo de filtración es necesario contemplar aspectos como:

- Propiedades del fluido: viscosidad, densidad y corrosividad
- Sólido: naturaleza, tamaño, forma
- Concentración de sólidos disueltos
- Volumen de operación
- Producto a obtener: sólidos o líquido o ambos
- Resistencia a la temperatura del material a filtrar
- Uso de coadyuvantes de filtración como tratamiento previo.

1.2. Medios filtrantes

La función del medio filtrante es generalmente la de actuar como soporte para la torta filtrante, mientras las capas iniciales de la torta proporcionan el verdadero filtro.

Las características que debe tener un medio filtrante:

- Elevado poder para retener partículas o microorganismos
- Resistentes química y mecánica
- Facilidad para desprender la torta
- No adsorción de sustancias. (Arévalo, 2009, pág. 20).
- Poca resistencia al flujo del filtrado
- Costo bajo
- Capacidad para conformarse mecánicamente al tipo de filtro que se maneja.

Generalmente se utilizan tejidos, material granular o sólidos porosos. Sin embargo, existen innumerables tipos de telas, tejidos de fibras, fieltros o fibras no tejidas, membranas poliméricas o sólidos particulados en forma de lecho permeable.

1.3. Torta filtrante

La formación de la torta filtrante en el inicio de operación es importante ya que puede tener influencia sobre la vida útil del medio filtrante y la resistencia del flujo.

La concentración de partículas que contiene el líquido, afecta la formación de la torta filtrante ya que, si el fluido contiene una alta concentración de sólidos, se reduce la distancia entre partículas y la tendencia hacia los poros abiertos del medio filtrante. Éstas se distribuyen y forman puentes en la superficie del filtro.

Para una solución con poca cantidad de sólidos presentes, las partículas penetraran en los poros del medio filtrante y se van depositando a medida que avanza la filtración.

Todo lo anteriormente explicado indica, que la obstrucción de los poros del medio filtrante puede tomar dos vías, la primera la penetración de los poros del medio filtrante, y la segunda la formación de puentes, todo esto al iniciarse la filtración. Esto se debe a la naturaleza del medio filtrante a utilizar y porque el movimiento de partículas no está definido.

1.4. Tratamiento preliminar de las suspensiones antes de la filtración

Si la solución que se desea filtrar es diluida y las partículas que se desean separar decantan con facilidad, puede realizarse una concentración de estos sólidos en un espesador, el líquido que se ha espesado pasa a un filtro en el cual ya se ha reducido la cantidad de sólidos a eliminar.

Otro tratamiento preliminar supone el principio en el cual los sólidos mientras sean de mayor tamaño, forman una torta filtrante más espesa logrando así una mayor velocidad de filtrado, para aumentar el tamaño de las

partículas puede agregarse un agente coagulante. O mediante precipitación si la naturaleza de los sólidos responde a este principio.

1.5. Coadyuvantes de la filtración

Los coadyuvantes son aditivos que se utilizan con la finalidad de aumentar la permeabilidad de la torta filtrante, es necesario su uso cuando se tiene una baja velocidad de filtración, taponamiento rápido del medio o turbidez elevado del líquido filtrado.

Existen dos formas de uso para estos aditivos, una de las formas consta en agregar a la suspensión que se desea filtrar, y la otra utilizándolo como lo que comúnmente se denomina pre-capa o torta, este método es muy utilizado para aquellas suspensiones con baja turbidez o presencia de sólidos bajas.

Estos aditivos son tales como: tierra diatomácea o sílice pura la cual es obtenida en yacimientos de esqueletos diatomáceos y perlita dilatada. Aunque es posible la utilización de carbón, yeso o fibras creadas a partir de celulosa.

Es necesario que al elegir un coadyuvante se tome en cuenta aspectos importantes como baja densidad esto ayuda a que no se sedimenten y su capacidad para formar una capa o torta con la finalidad de no presentar resistencia al flujo y no deben reaccionar con el fluido a filtrar.

Tierra diatomácea:

Se obtiene a partir de algas fósiles, las cuales tienen un tamaño microscópico además están formadas dependiendo de la especie de sílice. Los fósiles de estas algas también pueden convertirse en roca.

Su densidad se encuentra entre 128 a 320 kg/m³ contiene partículas de hasta 50 micrómetros y produce una porosidad en el rango 0,9 volumen de torta/volumen total de torta filtrante, este dato indica su gran capacidad para su uso como coadyuvante. (Franco, 2013, pág. 12)

Debido a que su procesamiento es variado pueden obtenerse diferentes aditivos con un rango grande de distinta permeabilidad.

1.6. Equipo

Los equipos de filtración se encuentran expandidos ampliamente y se deben seleccionar de acuerdo a criterios como:

- Volumen de líquido a filtrar
- Fuerza impulsora
- Grado de separación
- Producto que se selecciona
- Resistencia térmica
- Régimen de trabajo
- Costo global mínimo

Para clasificar los equipos de filtración existen diversos métodos y no es posible establecer un sistema simple que incluya a todos ellos, debido a esto pueden clasificarse de acuerdo a: cuál es el producto deseado la torta o el filtrado, la cantidad de sólidos presentes, por el ciclo de operación por lotes cuando la torta se extrae después de cierto tiempo o continua cuando la torta es separada a medida que se forma, por la fuerza impulsora que utilizan que puede ser gravedad, presión o vacío.

También pueden clasificarse de acuerdo a la colocación mecánica del medio filtrante ya que pueden estar en serie, en forma de placas planas

encerradas, hojas sumergidas en la suspensión o sobre cilindros giratorios que penetran la suspensión. (Geankoplis, 1998, pág. 886)

Los filtros más utilizados son:

Filtros de torta

En estos filtros, la filtración la realiza la torta de sólidos que se acumula al inicio de la filtración. Pueden operar a presión mayor a la atmosférica o de vacío, siendo cualquiera de estos de manera continua o discontinua; debido a la difícil remoción de los sólidos a presiones positivas la mayoría de filtros a presión son discontinuos o por lotes.

Dentro de éstos se pueden encontrar principalmente:

Filtro prensa. Es un tipo de filtración de torta discontinuo, el cual está constituido por unas placas en las que se depositan los sólidos para su remoción, las placas deben recubrirse con un medio filtrante. Para llevarse a cabo la filtración debe introducirse el líquido a filtrar a presión pasando por el medio filtrante y sale en una tubería de descarga.

Las ventajas de este tipo de filtro radican en su sencillez de uso, bajo costo y en su aplicación ya que son utilizados como filtros de torta o filtros clarificadores.

Las placas de los que están compuestos pueden ser cuadradas o circulares, verticales u horizontales. De estos filtros pueden encontrarse dos modelos filtro prensa de placas y marcos o el filtro prensa de placas huecas.

Filtro prensa de placas huecas. Son parecidos al filtro de placas y marcos con la diferencia de que constan únicamente de placas, la diferencia radica también en que la presión que se ejerce es más segura, su principal

desventaja radica en que debe abrirse el filtro para retirar la torta esto expone al operador a el contenido del filtro.

Filtro prensa de placas y marcos. Estos contienen placas las cuales se recubren con un material filtrante como tela o placas de celulosa, y marcos en los cuales se acumula la torta, las placas y marcos están suspendidos en dos barras horizontales las cuales se cierran a presión mediante un tornillo, de manera manual o hidráulica o mediante la fuerza de un motor.

La suspensión puede introducirse en la prensa a través del canal continuo formado por los orificios existentes en las esquinas de las placas y de los marcos, sin embargo la alimentación por la parte superior y la descarga por el fondo de las cámaras, proporcionan recuperación máxima del filtrado y el secado máximo de la torta. (Albert & Barbosa-Cánovas, 2005)

La suspensión entra por un extremo del conjunto de placas y marcos, y pasa a través de una esquina, hacia el canal longitudinal, los canales auxiliares llevan la suspensión desde el canal de entrada hasta cada uno de los marcos, los sólidos se depositan en las caras que tienen recubrimiento con material filtrante, ya que el líquido pasa a través del medio filtrante descendiendo por las canaladuras de las caras de las placas y sale del filtro prensa. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 1057)

Los filtros-prensa de placas y marcos se utilizan en la industria de fabricación de bebidas, para clarificar los productos. Se prepara una suspensión de tierra de diatomeas en un depósito manteniendo los sólidos en suspensión para que no se sedimente. Se transporta la suspensión a las celdas de separación del filtro-prensa de placas y marcos. Una celda de separación está formada por un marco con filtro y dos placas. Las placas provistas de ranuras están recubiertas con tela filtrante.

El filtrado atraviesa la tela filtrante y fluye por las ranuras a un canal continuo de recogida y se recoge en el depósito de filtrado. Los sólidos son retenidos por la tela filtrante y forma una torta filtrante de espesor creciente. El aumento de espesor de la torta filtrante aumenta también su resistencia hidráulica. Cuando se llenan las cámaras o se alcanza una presión diferencial máxima, termina la etapa útil de filtración. Las placas y los marcos del filtro-prensa de placas y marcos se desarmen para extraer la torta filtrante. Para continuar el proceso de filtración, se tiene que armar el filtro de nuevo con las placas y los marcos.

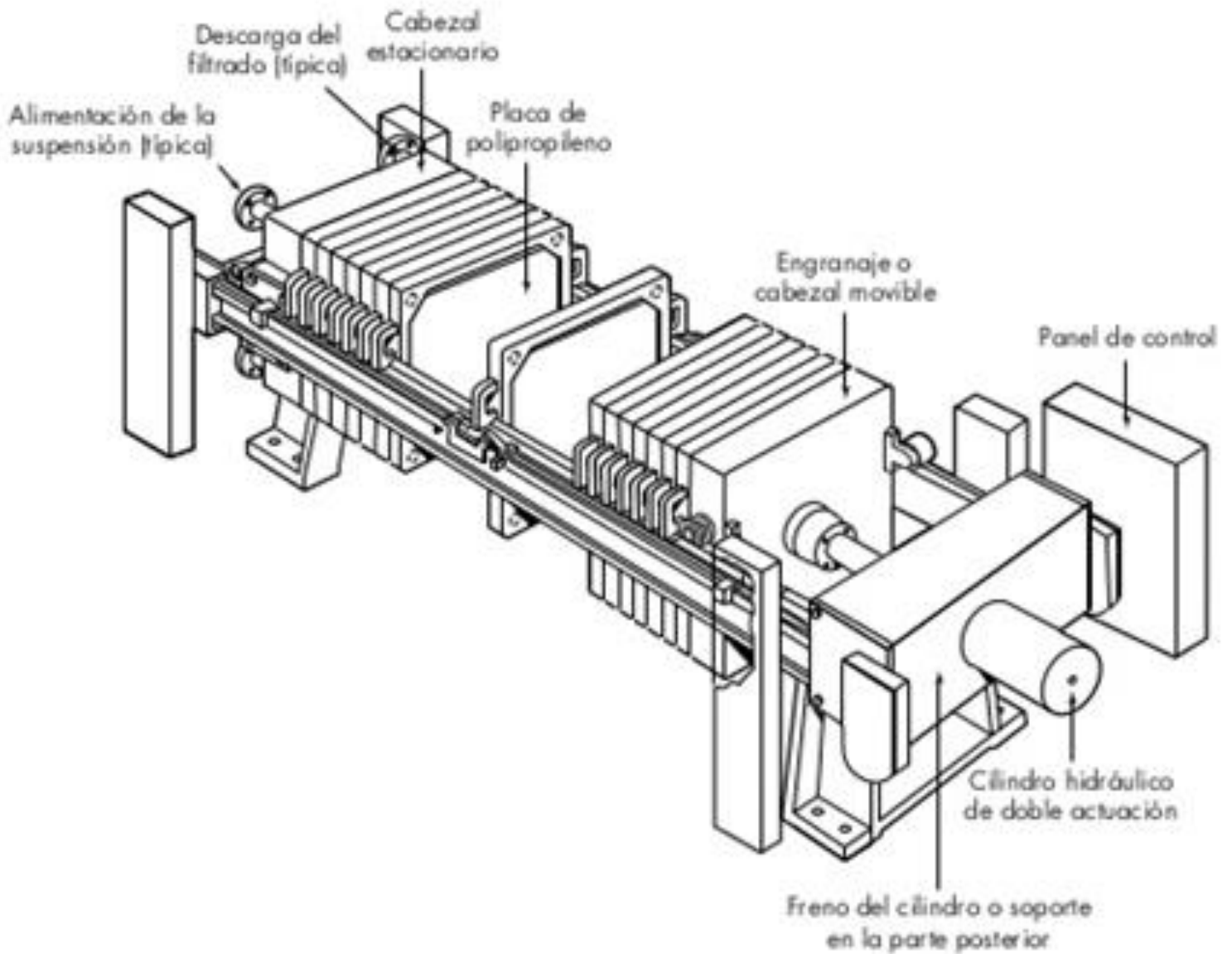
También es necesario tomar en cuenta que:

La fuerza ejercida por la prensa de husillo tiene que ser suficiente para que no haya fugas de suspensión a través de las caras de contacto de las placas y los marcos, obligándola a pasar a presión a través de la tela filtrante. La velocidad de filtración a través del filtro-prensa de placas y marcos se fija con una válvula. La presión diferencial que se origina durante la filtración se mide con un manómetro. (Gerätebau, 2005)

Se sabe que:

En este filtro la solución pasa a través del medio filtrante, pero a medida que se va filtrando se forma una torta que va aumentando su espesor, por lo que la solución debe atravesar no sólo el medio filtrante, sino también la torta formada. Esto supone que la caída de presión a través del filtro sea cada vez mayor o bien el caudal de filtrado cada vez menor. (Franco, 2013, pág. 19)

Figura 3. Filtro de placas y marcos



Fuente: (McCabe, Smith, & Harriott, 2007, pág. 1057)

Debido a esto existen dos modalidades de uso, depende si se desea un caudal constante o presión constante, a presión constante el caudal del líquido filtrado

disminuirá, por el contrario, si se desea un caudal constante la presión aumentará a medida que vaya transcurriendo la filtración.

Lecho de filtración

Es el tipo de filtro más sencillo, utilizado principalmente para clarificado, es decir, aquellos líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos y grandes volúmenes de líquido.

Son cilindros que en su interior albergan diferentes tipos de arena, con diferente granulometría, reteniendo de esta manera los sólidos suspendidos, regularmente su uso es en el tratamiento de aguas residuales y suministro de agua.

Filtros de mangas

La alimentación fluye en el filtro por medio de la acción de la gravedad, dando como resultado una velocidad de filtración baja. Consta de un cierto número de mangas largas y delgadas.

Los filtros de mangas han sido sustituidos en su mayoría para la filtración de líquidos, hoy en día se utilizan otros tipos de filtros, siendo el filtro de mangas Taylor el que aún se utiliza ampliamente en la industria azucarera.

Además, son ampliamente utilizados para eliminar partículas de polvo de gases y pueden funcionar como filtros de presión o filtros de succión. (Coulson & Richardson, 2003, pág. 434)

Filtro de hojas

Surgieron para el desarrollo de unidades de gran capacidad, tienen como características principales la uniformidad de la torta y su separación, son fáciles de lavar y la instalación del medio filtrante es fácil.

Consisten en una serie de elementos filtrantes planos, denominados hojas, que se encuentran en el interior de una carcasa presurizada, operan de manera discontinua o por cargas. (Pérez, 2013, pág. 3)

Son útiles ya que ahorran mano de obra y por lo tanto costos, la torta formada puede variar en espesor, tienen un lavado eficaz y descarga de la torta casi seca. Pero presentan desventajas en que únicamente pueden utilizarse para lotes ya que son discontinuos y pequeñas cantidades para operar.

Las hojas pueden tener forma rectangular o circular mientras que las carcasas pueden disponerse tanto vertical como horizontalmente. Existen tres tipos:

Filtro Sweetland. Se caracteriza porque tiene hojas circulares y su carcasa está dispuesta de manera horizontal, consta de dos partes, una de éstas da fácil acceso a las hojas. Tiene la ventaja de que se descarga la torta sin sacar las hojas. Además, cuenta con un mecanismo automático para su lavado el cual pasa encima de las hojas filtrantes mientras éstas oscilan, lavando de esta manera ambas caras de la hoja.

Filtro Moore. Está constituido por hojas suspendidas en un depósito las cuales cuentan con un marco rígido, con un recolector de descarga al cual están conectadas todas las tuberías de descarga, es en este colector al que se le aplica vacío.

Filtro Kelly. Es parecido al filtro Sweetland, con la diferencia de que las hojas son rectangulares, están dispuestas en una carcasa de manera horizontal. Se requiere la formación de la torta hasta un grueso deseado, en el interior se bombea la suspensión liberando aire a la atmósfera, llevándose a cabo de ésta manera la filtración.

Filtros continuos a vacío

En este tipo de filtros el líquido es succionado por el medio filtrante el cual se mantiene en movimiento, en el cual la torta de sólidos debe ser lavada y retirada del medio filtrante para que prosiga el ciclo de filtración. Para este tipo de filtros el ciclo del medio filtrante incluye: una parte en filtración, otra en área de lavado y una depositando los sólidos que han sido retenidos.

Como se menciona la presión no aumenta en este tipo de filtros y se mide en milímetros de mercurio (mm Hg), en un rango de 250 a 500. Existen dos tipos de filtros de este tipo:

Filtros de tambor rotatorio. Son los más utilizados de éste tipo de filtros, es un tambor dispuesto de manera horizontal con una superficie acanalada y además dispone de un recipiente en el cual se le agrega la suspensión que se desea filtrar. Consta de una válvula rotatoria que es la encargada de aplicar el vacío.

En estos equipos, puede aplicársele vacío únicamente a la sección que está en contacto con el líquido que se desea filtrar, y en algunos casos se le aplica vacío a todo el interior del tambor rotatorio llegando al medio filtrante.

En estos tipos de filtros se dice que:

Se produce una torta del espesor deseado, hasta aproximadamente 100mm, ajustando la velocidad de rotación del tambor. La capacidad de este tipo de filtros está comprendida entre 0,1 y 5 kilogramos de sólido por metro cuadrado y por segundo, variando según la naturaleza de la torta. (Franco, 2013, pág. 16)

Filtro rotatorio de discos. Está dividido por secciones en las cuales se disponen de hojas las cuales son las encargadas de realizar la filtración, el cual tiene un eje tubular, y separados por cubos de rueda.

Cada sector del disco tiene su propia salida, se puede formar un canal continuo con todas las salidas, y son estos canales los cuales están conectados a la válvula rotatoria encargada de la formación de vacío.

Posee la ventaja de que proporciona una mayor área de filtración en un área similar a la del filtro tambor rotatorio, además se pueden filtrar varios tipos de suspensión a la vez, esto se realiza mediante la suspensión del medio filtrante en distintos depósitos con el líquido a filtrar.

Pese a esto posee la desventaja de que no se puede separar los diferentes tipos de filtrado.

1.7. Fundamentos de la filtración en torta

Esta operación unitaria consiste en hacer fluir un líquido o gas con partículas en suspensión a través de un medio poroso, sin embargo, esto hace que la resistencia al flujo sea mayor, ya que se va obstruyendo, a medida que se lleva a cabo la filtración, los poros del medio filtrante o se forma una torta con los sólidos retenidos durante la operación.

Las principales variables afectadas por este hecho de obstrucción o formación de la torta, se encuentran la velocidad del fluido y la caída de presión. Ya que como se mencionó anteriormente, a medida que transcurre la filtración aumenta la presión o disminuye la velocidad del flujo.

Es denominada “filtración a presión constante” cuando al transcurrir el tiempo la presión permanece constante y la velocidad del flujo va

disminuyendo, y la “filtración a velocidad constante” cuando el tiempo transcurre, pero aumenta la presión.

El movimiento en un filtro es de tipo mecánico, el cual puede ser por gravedad, fuerza centrífuga o un diferencial de presión, siendo esta última la más utilizada.

Para calcular la caída de presión en un filtro, es necesario sumar la caída de presión en los canales del filtro utilizado (cuando se realiza un cálculo aproximado se desprecia), el medio filtrante y la torta filtrante. Se puede decir entonces que para calcular en un tiempo cualquiera la caída global de la presión se tiene:

$$\Delta p = P_a - P_b = (P_a - P') + (P' - P_b) = \Delta P_c + \Delta P_m$$

Donde P_a es la presión de entrada, P_b es la presión de salida y p' la presión entre el límite de separación entre el medio filtrante y la torta. Además Δp es la caída de presión global, ΔP_c la caída de presión en la torta y ΔP_m la caída de presión en el medio filtrante.

La filtración cumple con la ecuación básica de flujo de fluidos:

$$\text{Razón de flujo} = \frac{\text{Potencial}}{\text{Resistencia}}$$

Además, se puede decir que la razón instantánea aumenta con la presión y con el descenso a la resistencia total, la cual está dada por la suma de la resistencia tanto de la torta filtrante como la resistencia del medio filtrante y además debe tomarse en cuenta la resistencia equivalente a la caída de presión en los canales del filtro.

$$R = R_c + R' + R_p$$

“Donde R es la resistencia total, R_c identifica la resistencia de la torta, R' es la resistencia del medio filtrante y R_p es la resistencia que presentan los canales de filtración”. (Franco, 2013, pág. 22)

Cabe mencionar que la resistencia de la torta filtrante se ve obligada a aumentar con el aumento del grosor de la torta y de la viscosidad del líquido a filtrar, el tamaño y permeabilidad de la torta filtrante y el área disponible de filtrado.

Por el contrario, la resistencia de la torta filtrante, permanece constante, la resistencia de la torta filtrante se determina mediante experimentación, ya que las partículas van obstruyendo parcialmente los poros del medio filtrante y son éstos los que realizan el trabajo de medio filtrante y no el medio con sus poros totalmente abiertos.

1.8. Efectos prácticos de las variables de filtración

La condición óptima de operación en un filtro prensa de placas y marcos, se ven afectados por diferentes factores, entre ellos la concentración de los sólidos presentes en el fluido a filtrar y el caudal de la suspensión a tratar.

La concentración de los sólidos influye directamente en la formación de la torta de filtración, siendo ésta el verdadero filtro por lo tanto es necesario enumerar los factores principales que afectan a la formación de dicha torta, entre ellos se tiene:

- La velocidad de filtrado, ya que si existe una elevada velocidad de filtración inicial puede producir saturación del medio filtrante y eleva la filtración posterior.
- La orientación de las partículas en el inicio de la operación de filtración puede influenciar la estructura del medio filtrante.

Cabe mencionar que la velocidad de filtrado depende a su vez de los siguientes factores:

- La caída de presión
- El área de la superficie filtrante
- Viscosidad del flujo
- Resistencia tanto de la torta filtrante como del medio filtrante y las capas iniciales que forman la torta.

El tamaño de las partículas en suspensión y la concentración de estas partículas, son variables de suma importancia ya que pueden afectar el coeficiente de la resistencia de la torta.

1.9. Proceso productivo de rones

El proceso del ron inicia con el cultivo de caña de azúcar, en el cual se corta y recolecta con la finalidad de llevarla al ingenio para la producción de azúcar, la caña es triturada y pasada por unos molinos en el cual se extrae el jugo conteniendo la sacarosa, este jugo pasa a calentamiento para concentración de sólidos y eliminación de agua.

El ron se puede realizar a partir de jugo, miel virgen o melaza en la cual se dice que los mejores rones están hechos a partir de jugo y miel virgen. Es este líquido el que pasa por un proceso de fermentación en el cual, por

medio de utilización de cepas de levadura especiales, convierte el azúcar en alcohol etílico. La fermentación se controla por medio de la temperatura y tiempo, el cual principalmente varía con las necesidades del destilador, variando desde 12 horas para la fermentación corta hasta 12 días para la fermentación lenta. El mosto obtenido está listo para ser destilado.

Para la realización de la destilación para la producción de ron, se sugieren dos métodos, el primero la destilación en alambique y el segundo destilación continua en columnas. Aunque el principio se mantiene en ambos, el cual se refiere a calentar el mosto con el fin de separar el alcohol formado por medio de fermentación, ya que la temperatura de ebullición del alcohol es menor a la temperatura de ebullición del agua es posible la separación para luego de esto los vapores se condensan obteniendo el licor.

Luego de la destilación del alcohol y su condensación, es necesario pasar a la etapa de añejamiento el cual regularmente se hace en barriles de roble para que el alcohol extraiga componentes de la madera para obtener así una mezcla de olores y colores en el ron, el ron puede ser ron blanco o ron dorado.

El tiempo de añejamiento del ron dependerá del productor y su mercado, regularmente la edad del ron se realiza mediante la mezcla de rones jóvenes y añejos para ponderar una media, método conocido como solera. Luego del añejamiento debe determinarse las especificaciones del ron para tener una calidad consistente tanto fisicoquímicamente como organolépticamente.

La filtración dentro del proceso de la elaboración, se utiliza para la eliminación de partículas indeseables que resultan del propio añejamiento y mejorar la pureza del color del ron. Para la realización de esta operación, se

utiliza principalmente un filtro de placas y marcos, el cual necesita un medio filtrante regularmente placas de celulosa y debe ser cerrado a presión.

Como un coadyuvante de filtración, se realiza una pre-capa con tierra diatomácea, la cual debe permanecer en suspensión para mejorar el caudal dentro del filtro ya que esta funciona como un medio filtrante junto a la torta de sólidos y licor. Por último, se procede a su filtración.

Algunos productores de rones realizan una filtración en frío, con la finalidad de minimizar el riesgo de depósitos en el fondo de las botellas cuando estas sufran un cambio de temperatura. Técnica que es utilizada principalmente para productos de exportación.

El ron está listo para ser embotellado y despachado, para su venta al público.

2. Marco Operativo

2.1. Previo al muestreo

Para el desarrollo de la investigación debió realizarse pruebas experimentales con el fin de obtener datos que puedan ser analizados y de esta forma dar respuesta al objetivo planteado, para llevar a cabo dichas pruebas experimentales fue necesario realizar etapas previas con el fin de controlar todas las variables que podían afectar el proceso.

La etapa previa a iniciar el muestreo consistió en armar el filtro de placas y marcos, además de preparar el medio filtrante y una pre-capa.

2.1.1. Medio filtrante

El medio filtrante se preparó sumergiendo en agua suave, máximo 1 mg/L CaCO_3 , la placa de celulosa con porosidad de 7 micras durante un minuto, el filtro donde se llevaron a cabo las pruebas experimentales consta de 25 placas donde debe acondicionarse el medio filtrante.

2.1.2. Armado del filtro de placas y marcos

Al tener las placas de celulosa hidratadas se colocan en cada una de las placas del filtro, 25 en total, posteriormente se cierra manualmente el filtro de placas y marcos.

2.1.3. Pre-capa

La pre-capa se realiza con la finalidad de mejorar la velocidad de flujo ya que la pre-capa forma una torta la cual se considera como un medio filtrante, para la realización de esta etapa se les agregó a 500 litros de agua suave, 13 libras de tierra diatomácea, se deja correr en el filtro por 30 minutos, la velocidad de la bomba a utilizar se programa para que el caudal se encuentre en 8 142 litros por hora (L/h).

2.1.4. Materiales y equipo

- Filtro de placas y marcos de 25 placas con dimensiones 40cm por 40cm.
- Medio filtrante, placas de celulosa Seitz D400 de 7 micras.
- Tierra diatomácea
- Bomba centrífuga con un motor de 7,5 HP (3 515 rpm máximas)
- Agua suave

2.2. Muestreo

Para la reducción del tiempo de filtrado relacionando las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial, fue necesario controlar variables importantes mencionadas dentro del marco teórico, con el fin de garantizar que éstas se mantuvieran en los límites actualmente operados. Estas variables se describen a continuación.

2.2.1. Variables de control

En una investigación experimental existen variables que pueden ser controladas por el investigador y otras que se determinan por la naturaleza del proceso que se está realizando, para ello es necesario determinar y establecer las variables de operación con el fin de garantizar que el estudio se realice de manera objetiva.

Las variables a monitorear se encuentran descritas en la tabla 1, página 34.

Tabla 1. Variables control

No.	Variable	Dimensional		Tipo de variable	
				Constante	Variable
1	Tiempo de filtrado	Horas	h		X
2	Volumen de filtrado	Litros	L	X	
3	Diferencial de presión	Libra- fuerza por pulgada cuadrada	PSI		X
4	Masa Tierra diatomácea	Libras	Lb	X	
5	Turbidez	Unidad Nefelométricas de turbidez	NTU		X
6	Caudal de alimentación	Litros por hora	L/h		X

Fuente: elaboración propia, 2016

Dentro de las variables control se pueden tener variables independientes, las cuales pueden ser manipuladas por el investigador, y variables dependientes en las cuales su valor puede ser influenciada o afectada, por las variables independientes.

Las variables independientes se encuentran en la tabla 2, página 35.

Tabla 2. Variables Independientes

No.	Variable	Dimensional		Tipo de variable	
				Constante	Variable
1	Tiempo de filtrado	Horas	h		X
2	Caudal de alimentación	Litros por hora	L/h		X
3	Diferencial de Presión	Libra-fuerza por pulgada cuadrada	PSI		X
4	Masa de tierra diatomeas	Libras	Lb	X	

Fuente: elaboración propia, 2016

Mientras que las variables dependientes se ubican en la tabla 3.

Tabla 3. Variables Dependientes

No.	Variable	Dimensional		Tipo de variable	
				Constante	Variable
1	Turbidez	Unidad Nefelométricas de Turbidez	NTU		X
2	Volumen filtrado	Litros	L	X	

Fuente: elaboración propia, 2016

2.3. Tratamiento

Para cumplir el objetivo del estudio planteado se tuvo como variables en observación: el tiempo de filtrado, volumen filtrado, diferencial de presión y la turbidez tanto inicial como final. Fue necesario que las principales variables del monitoreo fueran la turbidez tanto inicial como final y tiempo en un caudal de alimentación determinado.

Para ello se comparó la turbidez final e inicial en diferentes tiempos previamente establecidos y a diferente caudal de alimentación del filtro. Para muestrear la turbidez inicial se tomó una muestra en la tubería de entrada del filtro proveniente del tanque de alimentación, en el caso de la turbidez final se cuenta con una muestra en la tubería de salida del filtro. Es necesario mencionar que la bomba de alimentación cuenta con un variador de velocidad el cual monitorea el caudal de alimentación del filtro.

El caudal de alimentación establecido actualmente es de 8 142 litros por hora (L/h).

Para establecer los tiempos fue necesario realizar una prueba piloto, en donde se pudo establecer los tiempos en los cuales se realizó el monitoreo relacionando la turbidez de salida con el caudal de alimentación.

2.3.1. Prueba piloto

Durante la realización de esta prueba se monitoreó la turbidez final, las muestras se tomaron a cada hora de transcurrido el proceso de filtración, tomando en cuenta que esta operación tiene un tiempo aproximado de 6 horas, y antes de finalizar el proceso de filtrado se tomará muestra cada media hora, todo esto tenía como objetivo encontrar el rango de tiempo que se monitoreó en las pruebas experimentales.

Para esto se utilizó la tabla 4, página 37.

Tabla 4. Prueba piloto

Horas de filtrado (h)	Turbidez Final (NTU)
2,0	
3,0	
4,0	
4,5	
5,0	
5,5	
6,0	

Fuente: elaboración propia, 2016

Se obtuvo un total de 7 muestras, debido al tiempo en el que transcurre la filtración aproximadamente 6 horas de filtración en el cual se monitoreó los cambios de turbidez final importantes, logrando establecer de esta manera las horas en las que fue necesario monitorear para obtener los resultados.

Cabe mencionar que la prueba piloto no incluyó la turbidez inicial debido a que en estas pruebas se pretendía determinar las horas en las que se manifiestan cambios importantes en la turbidez final. La turbidez inicial se determinó en las pruebas experimentales.

2.3.2. Pruebas experimentales

Las pruebas experimentales se realizaron mediante la toma de muestra de la base de ron añejo a filtrar, la muestra se tomó en la tubería de entrada al filtro la cual está conectada al tanque de alimentación y mediante la utilización de un turbidímetro digital se determinó la turbidez inicial.

En la tubería de salida del filtro se tomó la muestra de la base de ron añejo ya filtrado, se tomó una muestra para cada hora establecida en la prueba piloto, en total fueron 5 muestras, a estas muestras se les determinó la turbidez final; esto comprende 1 muestra del diseño estadístico.

En el monitoreo del caudal de alimentación, se utilizaron 3 diferentes caudales de alimentación, en los cuales se determinó la turbidez inicial y la final, esta última en 5 tiempos.

Para cada caudal de alimentación establecida se tomaron 6 muestras y para cada una de ellas, se tomó muestra en tiempos diferentes establecidos previamente en la prueba piloto, teniendo en total dieciocho (18) muestras.

Además, en todas las muestras dadas por el diseño estadístico, 18 muestras, se monitorearon las condiciones de operación, siendo presión tanto en la entrada como en la salida del filtro y el volumen el cual fue constante, siendo un lote, que comprende 24 000 L de base de ron añejo a filtrar.

Para la tabulación y ordenamiento de los datos, en el cual se disponen la información en filas y columnas para hacer más visible los resultados, ya que de esto se partió para la realización de los resultados, la tabla 5, pruebas experimentales muestra el diseño que se utilizó para cada caudal de alimentación establecida, (ver página 39).

Tabla 5. Pruebas experimentales

No. Corrida	Caudal de alimentación (L/h)	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)				
			Hora	Hora	Hora	Hora	Hora
1	Caudal 1						
2							
3							
4							
5							
6							

Fuente: elaboración propia, 2016

Las condiciones de operación que se utilizaron durante el muestreo tales como presión y volumen. Se encuentran en la tabla 6.

Tabla 6. Condiciones de Operación

No. Corrida	Volumen filtrado (L)	Presión (PSI)		
		Inicial	Final	Diferencial
1				
2				
3				
4				
5				

Fuente: elaboración propia, 2016

En la tabla anterior el número de corrida representa una muestra dada por el diseño estadístico, teniendo en total 18 muestras.

2.3.3. Recursos

- Filtro de placas y marcos de 25 placas con dimensiones 40cm por 40cm, utilizando como medio filtrante una placa de celulosa Seitz D400 de 7 micras.
- Turbidímetro digital con un rango de 0 a 4 000 Unidades Nefelométricas con precisión $\pm 1\%$
- Manómetros tipo bourdon, con medición en PSI en una escala de 0 a 100

2.4. Métodos

2.4.1. Método de Análisis

Para el análisis de las muestras obtenidas durante la parte experimental de la investigación, se utilizó el procedimiento de laboratorio “Análisis de Turbidez”, ver Anexo 1, página 62.

2.4.2. Diseño estadístico

2.4.2.1. Número de muestras

La precisión de los resultados, tratando de disminuir los posibles errores utilizando un número adecuado de corridas, para esto se utilizó una probabilidad de éxito de 50% y el error estimado se tomó como valor un 20%. Para establecer el número de corridas adecuadas con esta probabilidad de éxito se utilizó la siguiente fórmula:

$$N = \frac{Z^2 PQ}{E^2}$$

Donde:

Z = Confiabilidad (90%)

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso (1-P)

E = Error estimado

N = Número de corridas

$$N = \frac{(1.65)^2(0.50)(0.50)}{(0.20)^2}$$
$$N = 17.02$$

Debido a que al tomar los valores y operarlos en la fórmula antes descrita, el valor para las corridas a realizar se aproximó a 18.

2.4.2.2. Ecuaciones diferenciales

Es una ecuación matemática que relaciona una función con sus derivadas. En las aplicaciones, las funciones usualmente representan cantidades físicas, las derivadas representan sus razones de cambio, y la ecuación define la relación entre ellas.

Las ecuaciones diferenciales relacionan familias de curvas, por lo cual se adapta a los datos a obtener en las pruebas experimentales que se realizaron.

3. Recursos

3.1. Físicos

- 3.1.1. Área de filtración de base de ron añejo, en una industria productora de rones en Guatemala.

3.2. Humanos

- 3.2.1. Estudiante del Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, T.U. Sigrid Waleska Gramajo López.
- 3.2.2. Operadores de área de pre-filtración de productos.
- 3.2.3. Jefe de Fabricación
- 3.2.4. Jefe de Sistemas de Gestión
- 3.2.5. Asesor principal MSc. Astrid Argueta Del Valle
- 3.2.6. Asesor adjunto MSc. Aldo de León Fernández

3.3. Económicos

- 3.3.1. La empresa brindó el apoyo necesario para la realización de esta investigación.

4. Resultados y Discusión de Resultados

Para la obtención de los resultados, se realizó una prueba piloto en la cual se establecieron los intervalos de tiempo a utilizar en el muestreo, siendo los mismos intervalos de una hora para cada corrida, 18 en total, ya que en estos intervalos se obtenían cambios importantes en la turbidez final en la base de ron añejo, para visualizar los resultados de la prueba piloto ir a Apéndice 1, página 64.

Es necesario mencionar que la turbidez inicial depende de etapas anteriores y siendo afectada por variables como el estado del barril en el que fue añejada la base de ron, ya que la turbidez inicial puede aumentar en aquellos barriles que han sido reparados y disminuir cuando el barril en el que se añejará es nuevo, y el color afecta a la turbidez inicial mientras más cerca del límite máximo permisible se encuentre.

En las pruebas experimentales en los cuales se obtuvo 18 muestras en total cada una de ellas monitoreada en intervalos de tiempo de una hora, y a 3 caudales de alimentación diferentes, siendo éstos 8 142 L/h – 8 722 L/h – 9595 L/h teniendo 6 muestras para cada caudal de alimentación, se obtuvo para cada caudal lo siguiente:

Para observar todos los datos obtenidos, ir a Apéndice 2, página 65.

Tabla 7. Resultados del comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración de un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 142 L/h

8 142 L/h					
Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)
0,0	30,20	0	35,00	0,0	41,10
1,0	0,90	1	0,89	1,0	0,87
2,0	0,85	2	0,87	2,0	0,87
3,0	0,80	3	0,83	3,0	0,86
4,0	0,79	4	0,81	4,0	0,86
5,0	0,75	5	0,79	5,0	0,85
5,5	0,74	6	0,72	6,2	0,85
Corrida 4		Corrida 5		Corrida 6	
0,0	28,80	0,0	27,60	0	26,70
1,0	1,04	1,0	0,83	1	0,80
2,0	0,99	2,0	0,80	2	0,78
3,0	0,97	3,0	0,77	3	0,77
4,0	0,85	4,0	0,75	4	0,75
5,0	0,78	5,0	0,78	5	0,75
5,3	0,76	5,2	0,76	5	0,75

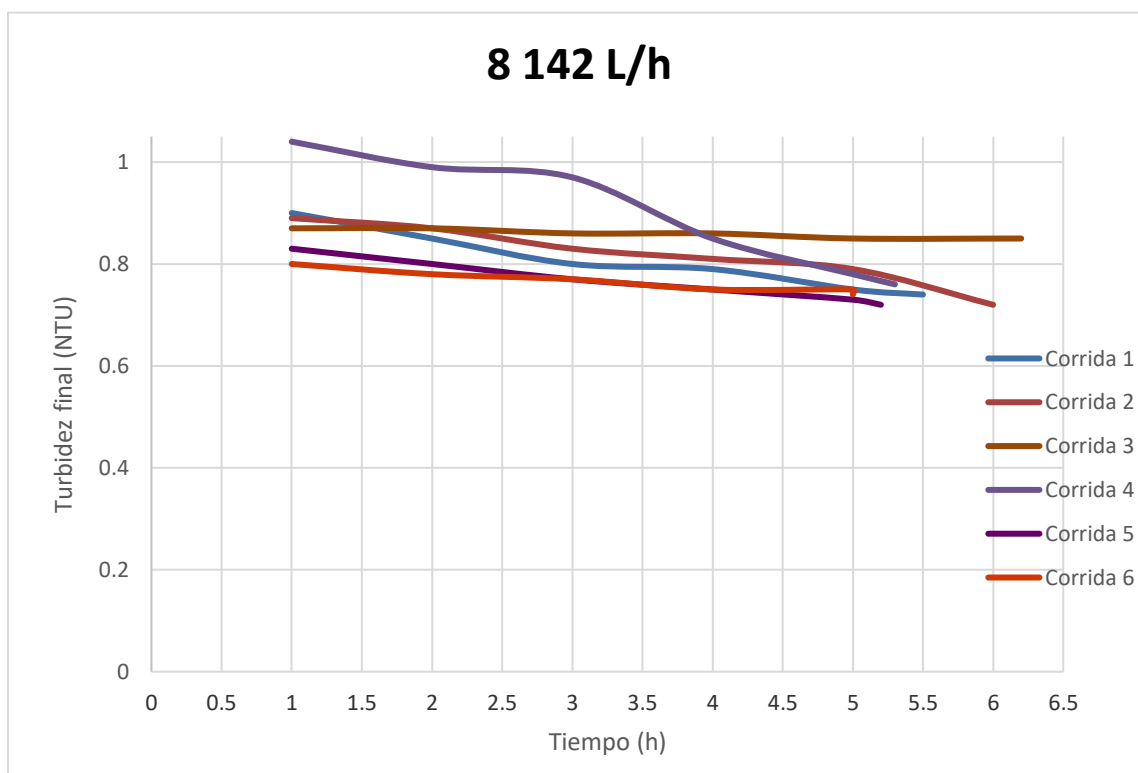
Fuente: elaboración propia, 2016

En la tabla anterior se demuestra que la turbidez final dada en NTU se encuentra por debajo del límite máximo permisible 2,0 NTU y además se encuentra dentro del rango establecido como óptimo (0,6 a 1,0 NTU), sin embargo, para obtener estas condiciones con un caudal de alimentación de 8 142 L/h el tiempo oscila de 5 a 6 horas de operación. Es necesario mencionar que la operación de filtración de base de rones añejos se realiza de manera discontinua, es decir, en

lotes. Cada lote comprende 24 000 L, para la realización de este estudio cada corrida representa un lote de 24 000 L.

Con los datos de la tabla 7, se procedió a realizar una gráfica que demuestra el comportamiento de la turbidez respecto del tiempo, teniendo:

Gráfica 1. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 142 L/h



Fuente: elaboración propia, 2016

En la gráfica se puede observar que, para filtrar un lote de 24 000 L de la base de ron añejo, a un caudal de 8 142 L/h y teniendo una turbidez inicial que varía desde 25,0 a 40,0 NTU requiere un tiempo promedio de 5,5 horas, estas horas se contabilizan desde el inicio de la operación hasta finalizar el lote (24 000 L). Cabe mencionar que en este caudal el comportamiento de la turbidez final se mantiene uniforme y dentro del rango óptimo 0,6 – 1,0 NTU. Las condiciones de operación, siendo éstas, presión y volumen, se encuentran en Apéndice 3, página 66.

En el caudal de alimentación de 8 722 L/h el comportamiento de la turbidez fue el siguiente:

Tabla 8. Resultados del comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración de un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 722 L/h

8 722 L/h					
Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)
0,0	46,60	0	27,50	0	34,00
1,0	1,21	1	0,91	1	0,91
2,0	0,84	2	0,87	2	0,88
3,0	0,82	3	0,88	3	0,88
4,0	0,76	4	0,88	4	0,83
5,0	0,72	5	0,88	5	0,78
5,4	0,72	5	0,88	5	0,78
Corrida 4		Corrida 5		Corrida 6	
0	29,90	0	42,10	0	35,00
1	0,86	1	0,92	1	1,02
2	0,82	2	0,90	2	0,90
3	0,82	3	0,82	3	0,85
4	0,81	4	0,81	4	0,83
5	0,77	5	0,80	5	0,83
5	0,73	5	0,79	5	0,80

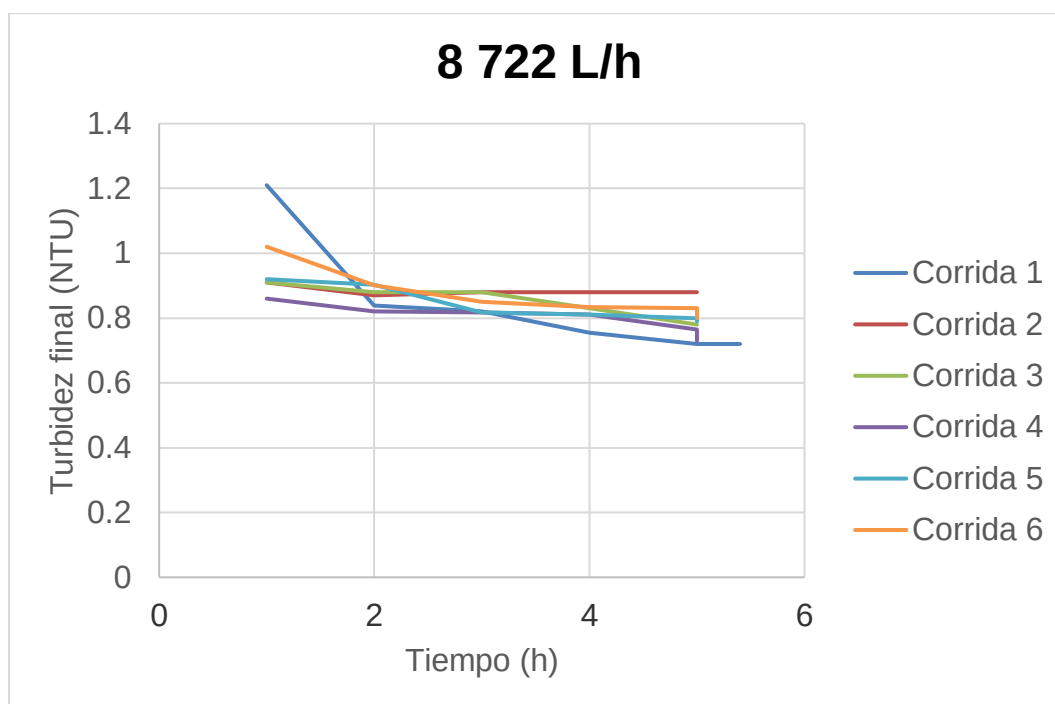
Fuente: elaboración propia, 2016

La tabla anterior demuestra que, para filtrar un lote de 24 000 L, a un caudal de 8 722 L/h teniendo una turbidez inicial entre 30,0 a 45,0 NTU requiere un tiempo promedio de 5 horas de filtración, la turbidez final se mantiene por debajo del límite máximo permisible 2,0 NTU y además dentro del rango óptimo de turbidez final

comprendida entre 0,6 a 1,0 NTU. La operación de filtración de base de ron añejo se realiza por medio de lotes, los lotes comprenden un volumen de 24 000 L, para la realización de esta investigación se tiene que cada corrida representa un lote de 24 000 L.

Se realizó una gráfica que demuestre el comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de 8 722 L/h que ejemplifique los resultados obtenidos en la tabla 8.

Gráfica 2. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 8 722 L/h



Fuente: elaboración propia, 2016

En la gráfica se puede observar que, para filtrar un lote de 24 000 L de base de ron añejo, a un caudal de 8 722 L/h y teniendo una turbidez inicial que varía desde 27,9 a 46,6 NTU requiere un tiempo promedio de 5 horas, estas horas se contabilizan desde el inicio de la operación hasta finalizar el lote (24 000 L). Cabe mencionar que en este caudal el comportamiento del tiempo no se ve afectado respecto con la turbidez inicial, ya que se mantiene uniforme, la turbidez final está

dentro del rango óptimo 0,6 a 1,0 NTU. Las condiciones de operación, siendo éstas, presión y volumen, se encuentran en Apéndice 3, página 66.

El último grupo de muestras se analizó a un caudal de 9 595 L/h, en el cual el comportamiento de la turbidez final fue:

Tabla 9. Resultados del comportamiento la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 595 L/h

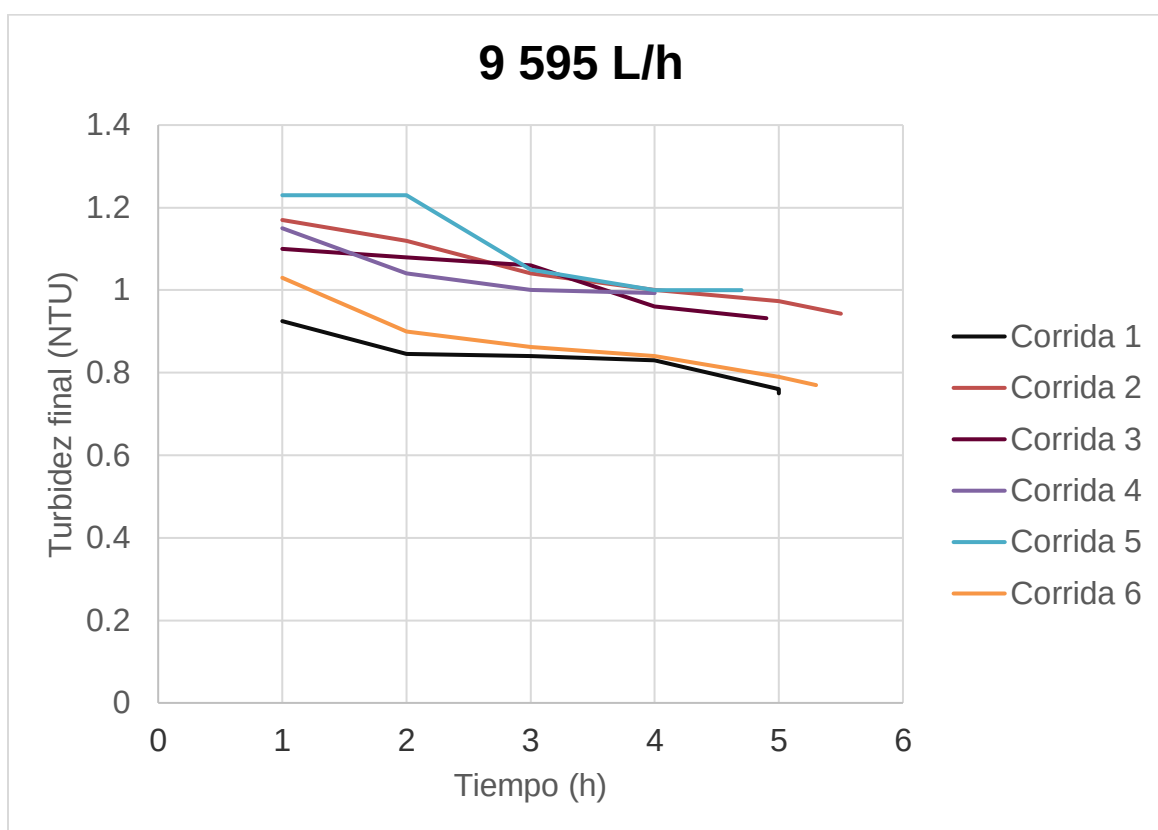
9 595 L/h					
Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)
0	30,00	0,0	35,00	0,0	28,30
1	0,92	1,0	1,17	1,0	1,10
2	0,85	2,0	1,12	2,0	1,08
3	0,84	3,0	1,04	3,0	1,06
4	0,83	4,0	1,00	4,0	0,96
5	0,76	5,0	0,98	4,9	0,93
5	0,75	5,5	0,94	-	-
Corrida 4		Corrida 5		Corrida 6	
0	32,00	0,0	33,80	0,0	49,80
1	1,15	1,0	1,23	1,0	1,03
2	1,04	2,0	1,23	2,0	0,90
3	1,00	3,0	1,05	3,0	0,86
4	0,99	4,0	1,00	4,0	0,84
-	-	4,7	1,00	5,0	0,79
-	-	-	-	5,3	0,77

Fuente: elaboración propia, 2016

La tabla anterior demuestra que, para filtrar un lote de 24 000 L, a un caudal de 9 595 L/h teniendo una turbidez inicial entre 28,3 a 49,8 NTU requiere un tiempo alrededor de 4 horas de filtración, la turbidez final se mantiene por debajo del límite máximo permisible (2,0 NTU) y además dentro del rango óptimo de turbidez final comprendida entre 0,6 a 1,0 NTU. La operación de filtración de base de ron añejo se realiza por medio de lotes, los lotes comprenden un volumen de 24 000 L, para la realización de esta investigación se tiene que cada corrida representa un lote de 24 000 L.

Se realizó una gráfica que demuestre el comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de 9 595 L/h que ejemplifique los resultados obtenidos en la tabla 9, entonces:

Gráfica 3. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 595 L/h



Fuente: elaboración propia, 2016

La gráfica anterior demuestra que para una turbidez inicial comprendida en un rango de 28,0 a 50,0 NTU, la turbidez final se mantiene en un promedio de 1,0 NTU, dato que se encuentra dentro del rango óptimo, y que además su tiempo promedio oscila en 4 horas, sin embargo, es necesario mencionar que los datos no se mantienen uniformes. Las condiciones de operación se encuentran en Apéndice 3, página 66.

Se puede observar que para una turbidez inicial de 30,0 NTU en un caudal de 9 595 L/h el tiempo fue mayor respecto al de 32,0 NTU ya que existen otras variables como lo son color y procedencia, tipo de barrica donde fue añejado, que afectan el proceso de filtración.

Se realizaron pruebas a un caudal de alimentación de 9 886 L/h, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 10. Resultados del comportamiento la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 886 L/h

9 886 L/h					
Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)	Tiempo (h)	Turbidez (NTU)
0,0	31,00	0,0	25,53	0	35,80
1,0	1,60	1,0	1,50	1	1,70
2,0	1,55	2,0	1,46	2	1,63
3,0	1,40	3,0	1,30	3	1,55
4,0	1,20	4,0	1,25	5	1,55
6,0	1,20	4,5	1,25	6	1,50
7,0	1,22	-	-	7	1,40
7,5	1,20	-	-	7	1,40

Fuente: elaboración propia, 2016

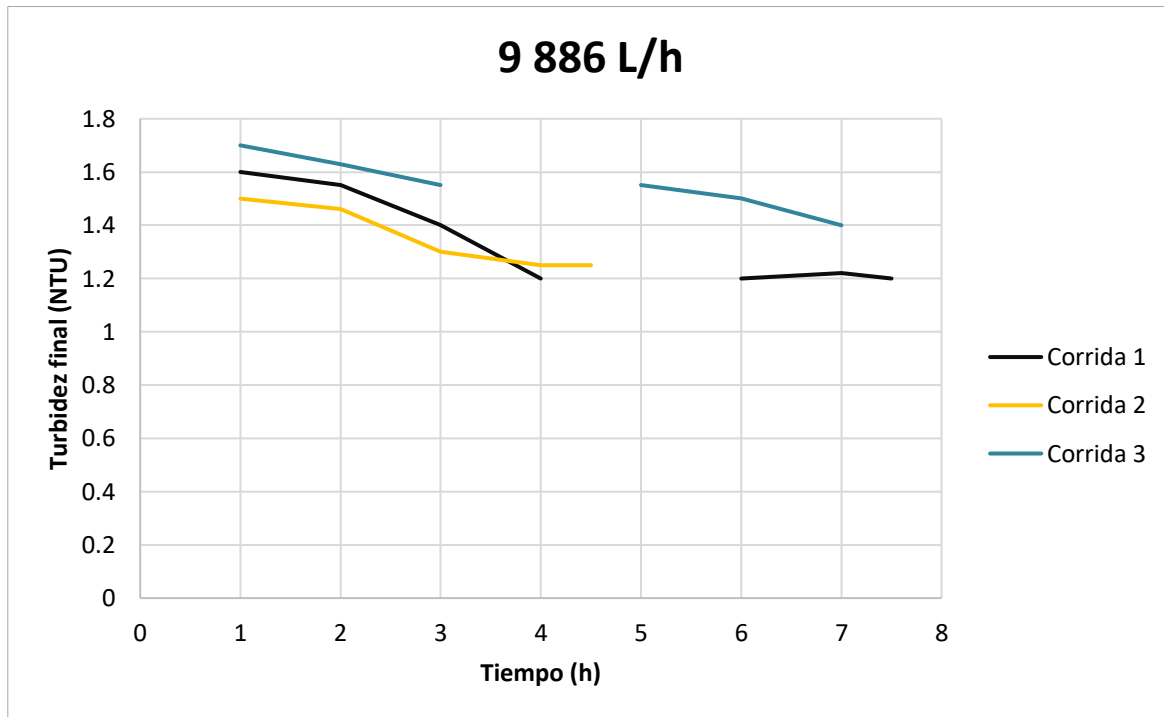
En la tabla anterior se pueden observar que únicamente existen 3 corridas, ya que el proceso no fue estable, y en dos ocasiones el filtro presentó saturación, en la corrida 1 a las 4 horas de haber iniciado el proceso y para la corrida 3 a las 3 horas de haber iniciado el proceso, ver Apéndice 3, página 66, ocasionando que se tuviera que realizar un nuevo acondicionamiento del filtro el cual consta de lavado del filtro e iniciar el proceso con la colocación de nuevas placas de celulosa y pre-capa, proceso pre-operacional que conlleva alrededor de 2 horas, sumado al tiempo de operación de filtración, además, un aumento en el costo de producción y mano de obra.

Además, el rango de turbidez, aunque si se encuentra por debajo del límite máximo permisible 2,0 NTU, está fuera del rango óptimo establecido el cual se encuentra entre 0,6 a 1,0 NTU para la turbidez final, representando una pérdida de la eficiencia en etapas posteriores.

Queda demostrado que altas velocidades iniciales y durante el proceso de filtración afectan la formación de la torta, la cual actúa como el verdadero filtro, ya que se obstruyen los poros afectando el paso del fluido, teniendo una importante caída de caudal, y requiriendo realizar un cambio de placas y la realización de una nueva pre-capa.

Se realizó una gráfica que demuestre el comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de 9 886 L/h que ejemplifique los resultados obtenidos en la tabla 10, entonces:

Gráfica 4. Comportamiento de la turbidez en el tiempo de filtración en un lote de 24 000 L para un caudal de alimentación de 9 886 L/h



Fuente: elaboración propia, 2016

La gráfica anterior demuestra que para una turbidez inicial comprendida en un rango de 25,0 a 36,0 NTU, la turbidez final se mantiene en un promedio de 1,28 NTU, dato que se encuentra dentro del límite máximo permisible (2,0 NTU), pero lo deja fuera del rango óptimo de turbidez.

Además, en el tiempo para las corridas 1 y 3 con una turbidez inicial de 31,0 y 35,8 NTU respectivamente, se incrementó ya que el filtro presentó saturación, por esta razón la línea que representa el comportamiento de la turbidez final se encuentra cortada debido a que en ese lapso de tiempo alrededor de 2 horas fue necesario realizar un nuevo acondicionamiento del filtro representando tiempo perdido de operación y requiriendo un mayor costo de producción y mano de obra.

Con los datos recopilados durante el muestreo se pudo realizar una matriz que relaciona la turbidez inicial, caudal de alimentación del filtro, tiempo y la turbidez final, la cual se dispone como se observa en la siguiente página:

Tabla 11. Matriz resultante

Caudal de alimentación (L/h)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)										
		1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	5,2 h	5,3 h	5,4 h	5,5 h	6 h	6,2 h
8 142	30,20	0,90	0,85	0,80	0,79	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74	-	-
	35,00	0,89	0,87	0,83	0,81	0,79	0,75	0,75	0,75	0,75	0,72	-
	41,10	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	28,80	1,04	0,99	0,97	0,85	0,78	0,76	0,76	-	-	-	-
	27,60	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73	0,76	-	-	-	-	-
	26,70	0,80	0,78	0,77	0,75	0,75	-	-	-	-	-	-
8 722	46,60	1,21	0,84	0,82	0,76	0,72	0,72	0,72	0,72	-	-	-
	27,50	0,91	0,87	0,88	0,88	0,88	-	-	-	-	-	-
	34,00	0,91	0,88	0,88	0,83	0,78	-	-	-	-	-	-
	29,90	0,86	0,82	0,82	0,81	0,77	-	-	-	-	-	-
	42,10	0,92	0,90	0,82	0,81	0,80	-	-	-	-	-	-
	35,00	1,02	0,90	0,85	0,83	0,83	-	-	-	-	-	-
9 595	30,00	0,92	0,85	0,84	0,83	0,76	-	-	-	-	-	-
	35,00	1,17	1,12	1,04	1,00	0,97	0,94	0,94	0,94	0,94	-	-
	28,30	1,10	1,08	1,06	0,96	-	-	-	-	-	-	-
	32,00	1,15	1,04	1,00	0,99	-	-	-	-	-	-	-
	33,80	1,23	1,23	1,05	1,00	-	-	-	-	-	-	-
	49,80	1,03	0,90	0,86	0,84	0,79	0,77	0,77	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia, 2016

En la matriz anterior se tiene como valor máximo para la turbidez final de 1,0 NTU, ya que, aunque el valor máximo permisible es de 2,0 NTU, el rango de la turbidez final óptima se encuentra en el intervalo de 0,6 a 1,0 NTU, debido a que una turbidez inicial mayor a 1,0 NTU disminuyen la eficiencia en etapas posteriores.

La construcción de la matriz se realizó con los datos obtenidos durante el muestreo, la cual relaciona el caudal con el tiempo en horas de filtración y la turbidez inicial, es decir la intersección fila – columna demuestra la turbidez final en determinadas horas de filtración.

Luego de obtener la matriz se determinó que el mejor caudal de filtración encontrado es 9 595 L/h para un lote de 24 000 L ya que se minimiza el tiempo aproximadamente 2 horas, sin afectar la calidad de la base del ron añejo ya que no solo se encuentra debajo del límite máximo permisible de 2,0 NTU sino también se mantiene dentro del rango óptimo de turbidez final comprendido entre 0,6 a 1,0 NTU.

Cabe mencionar que en la matriz se puede observar que desde la primera muestra la base de ron añejo ya se encontraba dentro del rango óptimo y por lo tanto dentro del rango máximo permisible menor a 2,0 NTU, sin embargo, no es posible dar por finalizada la operación en ese momento, ya que cada lote consta de 24 000 L y para entonces no se había concluido el volumen total.

Con un caudal de 9 595 L/h se logró la reducción de los costos de mano de obra, ya que no es necesario laborar horas extras y tampoco es necesario un re-acondicionamiento del filtro por saturación.

Para contabilizar la reducción de costos por energía eléctrica se tomaron los Kilovatios hora (KWh) utilizados por el filtro de placas y marcos por las horas de trabajo y el costo que tiene en la empresa eléctrica de Guatemala, (Energuate, 2016) así:

$$7.50 \text{ Kw} \times 6 \text{ h} = 45 \text{ Kwh} \times \frac{Q2.02}{1 \text{ Kwh}} = Q90.90$$

La ecuación anterior indica que por cada día que se utiliza el filtro a un caudal de 8 142 L/h (6 h de operación aproximadamente) tiene un costo de 90,90 quetzales. Al utilizar un caudal de 9 595 L/h (4 h de operación aproximadamente) el costo se calculó de la siguiente manera:

$$7.5 Kw \times 4 h = 30 Kwh \times \frac{Q2.02}{1 Kwh} = Q60.60$$

Se tiene que al operar 4 h el costo es de Q60,90 para cada lote de 24 000 L. La reducción de costo por energía eléctrica es de Q30,30 por cada día de operación, representando una disminución del 33,33%.

La reducción de la mano de obra se contabilizó por medio de horas-hombre el cual relaciona la cantidad de operarios necesarios para poder producir determinada cantidad de producto en una cantidad de horas, teniendo para un caudal de 8 142 L/h en el cual se labora alrededor de 6 h:

$$\text{Horas} - \text{hombre} = 2 \text{ operarios} * 6 \text{ h de operación}$$

$$\text{Horas} - \text{hombre} = 12$$

Y para el caudal encontrado como óptimo, 9 595 L/h en el cual se operan aproximadamente 4 h la relación encontrada horas – hombre fue:

$$\text{Horas} - \text{hombre} = 2 \text{ operarios} * 4 \text{ h de operación}$$

$$\text{Horas} - \text{hombre} = 8$$

La reducción en mano de obra fue de 4 horas – hombre para filtrar 24 000 L de base de ron añejo, lo cual representa un 33,33%.

En los indicadores medio ambientales, producción de CO₂ se obtiene que para un caudal de 8 142 L/h en el cual se consumen aproximadamente 45 KWh se producen 29,25 Kg de CO₂ y para el caudal óptimo de 9 595 L/h consumiendo

alrededor de 30 KWh la producción de CO₂ es de 19,50 Kg teniendo entonces una reducción de 9,75 Kg de CO₂ por cada 24 000 L producidos de base de ron añejo, lo cual representa un 33,33% de reducción.

Conclusiones

1. Se rechaza la hipótesis puesto que, sí fue posible lograr una reducción del tiempo de filtración, aumentando la velocidad de filtrado mediante la regulación de caudal de alimentación, que mantuviera una turbidez final menor a 2,0 NTU.
2. El comportamiento de la turbidez final fue más estable con un caudal de alimentación de 8 722 L/h, pero se tiene como tiempo promedio 5 horas de operación de filtrado, manteniendo un valor de turbidez final por debajo de 1,0 NTU, valor requerido para mantener la eficiencia en etapas posteriores.
3. El caudal de 9 886 L/h representó muy poca estabilidad en el monitoreo y solo fue posible realizar 3 corridas, ya que en dos corridas se saturó el filtro, confirmando que velocidades excesivas de filtración obstruyen los poros del medio filtrante y evitan la formación adecuada de la torta. Además, el tiempo de filtración aumentó llegando a tener un tiempo alrededor de 7 horas para filtrar un lote de 24 000 L.
4. La matriz resultante indica que el caudal óptimo de alimentación es de 9 595 L/h, ya que reduce el tiempo de filtración a un promedio de 4 horas de operación, sin afectar la calidad, teniendo como valor final de turbidez un promedio de 1,0 NTU, el cual se encuentra como óptimo para el cliente de la base de ron añejo.
5. Se redujo el tiempo ya que, en el caudal utilizado, 8 142 L/h, se obtenían por debajo del rango óptimo comprendido entre 0,6 a 1,0 NTU, pero teniendo tiempos prolongados de hasta pasado las 6 horas, sin embargo, en el caudal óptimo encontrado de 9 595 L/h se obtuvo tiempos alrededor de 4 horas.

Recomendaciones

1. Es necesario que durante toda la operación se mantenga la base de ron añejo con agitación ya que esto mejora la velocidad de flujo, puesto que el coadyuvante de filtración debe mantenerse en suspensión al ser agregada al producto.
2. El límite máximo permisible de la turbidez final se mantiene por debajo de 2,0 NTU sin embargo el valor óptimo debe mantenerse entre 0,6 a 1,0 NTU, ya que si asciende mucho este valor interfiere en etapas posteriores para convertir la base de ron añejo en ron añejo.
3. La velocidad de filtración regulada por medio del caudal de alimentación debe ser moderada ya que si se tiene elevada no solo afecta la turbidez final de la base ron añejo si no también puede llegar a obstruir los poros del medio filtrante, saturación, impidiendo la operación de filtración.
4. La realización de la pre-capa, proceso que ayuda a mejorar la velocidad de filtración debe realizarse a baja velocidad, como máximo la mitad de la velocidad a utilizar en la operación, ya que esta etapa es importante porque es en ella donde se forma la torta que constituye el verdadero filtro para el proceso.
5. Analizar el comportamiento de la turbidez con un caudal de 9 303 L/h, con la finalidad de verificar si el proceso se mantiene más estable con respecto al caudal de 9 595 L/h, y que durante toda la operación se mantenga con una turbidez final menor a 1,0 NTU.

Referencias Bibliográficas

1. Albert, I. & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de alimentos*. México, D.F.: Mundi-Prensa.
2. Arévalo, M. F. (2009). *Filtración*. Recuperado el 24 de Febrero de 2016, de http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/filtracion.pdf
3. Arnau Gras, J., Angera Argilaga, M. T. & Gómez Benito, J. (1990). *Metodología de la investigación en ciencias del comportamiento*. Murcia, ES.: Universidad Secretariado de Publicaciones.
4. Carraher, C. E. & Seymour, R. B. (2002). *Química de los polímeros*. España.: Reverté, S.A.
5. Control de Calidad. (2015). *Control de filtración*. Quetzaltenango, GT.:
6. Costa López, J., Cervera March, S., Cunill García, F., Esplugas Vidal, S., Mans Teixidó, C. & Mata Álvarez, J. (2004). *Ingeniería Química: Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Barcelona, ES.: Reverté, S.A.
7. Coulson, J. & Richardson, J. (2003). *Ingeniería química: Operaciones básicas*. Tomo II. Barcelona, ES.: Reverté, S.A.
8. Departamento de Agricultura. (1997). *Depósito de documentos de la FAO*. Recuperado el 24 de Febrero de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/005/y1579s/y1579s03.htm>
9. Energuate.(2016). *Tarifas vigentes*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2016, de <http://www.energuate.com/tarifas-vigentes>

10. Farlex. (2015). *Farlex*. Recuperado el 24 de Febrero de 2016, de https://www.google.com.gt/?gws_rd=ssl#q=inurlhttp:%2F%2Fes.thefreedictionary.com%2Ftortuoso
11. Franco, C. A. (2013). *Evaluación de un filtro prensa dentro del proceso de filtración de bebidas alcohólicas*. Guatemala, GT.:
12. Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. México, D.F.: Continental, S.A.
13. Geratebau, G. (2005). *Filtro-Prensa de placas y marcos*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2015, de http://www.gunt.de/static/s/s3332_3.php
14. Grupo Amanuense. (2014). *Ron de Guatemala*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2015, de <http://m.rondeguatemala.com/>
15. Ibarz, A. & Barbosa-Cánovas, G. (2011). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid, ES.: Editorial Madrid.
16. Jefatura de Calidad & Jefatura de Fabricación. (2014). *Filtración de Productos*. Quetzaltenango, GT.:
17. Jefatura de Fabricación. (2004). *Filtración de productos*. Quetzaltenango, GT.:
18. Marcano, J. E. (2010). *Mi país*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2015, de <http://www.jmarcano.com/mipais/economia/ron.html>
19. McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. (4ta. Edición). Madrid, ES.: McGraw-Hill, Inc.
20. McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. (7ma. Edición). México, D. F.: McGraw-Hill Interamericana.

21. Normalización, O. I. (2005). *ISO 22000:2005*. Suiza, CH.:
22. Pérez, G. (22 de Mayo de 2013). *Filtro de Hojas*. Recuperado el 21 de Mayo de 2015, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Filtro-De-Hojas/26542430.html>
23. Sistemas de gestión & Jefatura de Fabricación. (2014). *Plan HACCP*. Quetzaltenango, GT.:
24. Wikipedia. (13 de Octubre de 2014). *Nefelómetro*. Recuperado el 24 de Febrero de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Nefel%C3%B3metro>
25. Wikipedia, e. I. (21 de Octubre de 2014). *Turbidez*. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <http://es.wikipedia.org/>
26. Wikipedia. (19 de Diciembre de 2015). *Parámetro*. Recuperado el 24 de febrero de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Par%C3%A1metro>
27. Wikipedia. (27 de Enero de 2016). *Manómetro*. Recuperado el 24 de Febrero de 2016, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Man%C3%B3metro>
28. Wikipedia. (13 de febrero de 2016). *Propiedad organoléptica*. Recuperado el 24 de febrero de 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Propiedad_organol%C3%A9ptica

Vº. Bº. 
Licda. Ana Teresa de González
Biblioteca CUNSUROC. 

Anexos

1. Análisis de turbidez

Encendido del equipo

1. Encender el equipo pulsando el botón que se encuentra en la parte posterior, 30 minutos antes de ser usado.
2. Utilizar bata para realizar el procedimiento.

Procedimiento para determinar turbidez

1. Verificar que las luces indicadoras de NTU, Auto Range, SIGNAL AVG, RATIO, estén encendidas.
2. Enjuagar la cubeta de muestras 2 veces con la muestra a medir y déjela.
3. Llenar cuidadosamente la cubeta de muestra, 30 ml aprox. y colocar de inmediato el tapón a la cubeta.
4. Sujetar la cubeta de muestra únicamente por el tapón.
5. Limpiar la cubeta de muestra con un paño suave, para eliminar huellas y manchas.
6. Aplicar una pequeña gota de silicona desde la parte superior de la cubeta de muestra y utilizar el paño lubricante para aplicar el aceite de forma uniforme en la superficie de la cubeta de muestra, eliminando excesos.
7. Girar lenta y cuidadosamente la cubeta en ángulo de 180° para que la muestra se mezcle totalmente.
8. Levantar la cubierta del turbidímetro para ingresar la cubeta de muestra.
9. Colocar la cubeta de muestra en el soporte de cubetas de muestra, como se indica en el turbidímetro.
10. Cerrar la cubierta del turbidímetro.
11. Permitir que el instrumento se estabilice, leer y registrar el valor que indica la pantalla con dimensional NTU.
12. Extraer la cubeta de muestra del soporte de cubeta y dejar cerrado el compartimiento.

Condiciones de operación y eléctricos:

Temperatura ambiente: 0°C a 40° C +/- 2°C
Humedad relativa: 0% a 90 % a 25 °C; 0 a 75% a 40°C
Altitud: Hasta 2000 msnm (6560 pies)
Voltaje de línea: +/- 10 %

Imagen de los botones principales del turbidímetro



Fuente: Control de calidad, 2015

Apéndices

1. Datos obtenidos en la prueba piloto

Tabla 12. Datos prueba piloto

PRUEBA PILOTO	
Horas de filtrado (h)	Turbidez final (NTU)
0,0	1,21
2,0	0,84
3,0	0,82
3,5	0,79
4,0	0,76
4,5	0,76
5,0	0,72
5,5	0,77
5,7	0,77

Fuente: elaboración propia, 2016

2. Datos obtenidos en las pruebas experimentales

Tabla 13. Datos en el muestreo

PRUEBAS EXPERIMENTALES									
No. Corrida	Caudal de alimentación (L/h)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)						Tiempo final (h)
			1 h	2 h	3 h	4	5 h	Hora Final	
1	8 142	30,20	0,90	0,85	0,80	0,79	0,75	0,74	5,5
2		35,00	0,89	0,87	0,83	0,81	0,79	0,72	6,0
3		41,10	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	6,2
4		28,80	1,04	0,99	0,97	0,85	0,78	0,76	5,3
5		27,60	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73	0,72	5,2
6		26,70	0,80	0,78	0,77	0,75	0,75	0,74	5,0
7	8 722	46,60	1,21	0,84	0,82	0,76	0,72	0,72	5,4
8		27,50	0,91	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	5,0
9		34,00	0,91	0,88	0,88	0,83	0,78	0,78	5,0
10		29,90	0,86	0,82	0,82	0,81	0,77	0,73	5,0
11		42,10	0,92	0,90	0,82	0,81	0,80	0,79	5,0
12		35,00	1,02	0,90	0,85	0,83	0,83	0,80	5,0
13	9 595	30,00	0,93	0,85	0,84	0,83	0,76	0,75	5,0
14		35,00	1,17	1,12	1,04	1,00	0,97	0,94	5,5
15		28,30	1,10	1,08	1,06	0,96	-	0,93	4,9
16		32,00	1,15	1,04	1,00	0,99	-	0,99	4,0
17		33,80	1,23	1,23	1,05	1,00	-	1,00	4,7
18		49,80	1,03	0,90	0,86	0,84	0,79	0,77	5,3

Fuente: elaboración propia, 2016

3. Condiciones de operación en cada corrida

Tabla 14. Datos condiciones de operación

CONDICIONES DE OPERACIÓN					
No. Corrida	Caudal de alimentación (L/h)	Volumen filtrado (L)	Presión (PSI)		
			Inicial	Final	Diferencial
1	8 142	24 000	12	8	4
2		24 000	10	6	4
3		24 000	12	8	4
4		24 000	12	6	6
5		24 000	10	6	4
6		24 000	10	6	4
7	8 722	24 000	14	8	6
8		24 000	12	6	6
9		24 000	14	8	6
10		24 000	12	6	6
11		24 000	12	6	6
12		24 000	10	6	4
13	9 595	24 000	14	8	6
14		24 000	12	6	6
15		24 000	12	6	6
16		24 000	10	8	2
17		24 000	10	8	2
18		24 000	12	8	4
19	9 886	24 000	14	4	10
20		24 000	12	8	4
21		24 000	14	2	12

Fuente: elaboración propia, 2016

Glosario

1. Base de ron añejo

Se le denomina así al líquido que debe pasar un ajuste de grado alcohólico, color y turbidez para poder salir a la venta del consumidor.

2. Destilación

Es la operación de separar las distintas sustancias que componen una mezcla líquida mediante vaporización y condensación selectivas. (Wikipedia, 2016)

3. Manómetro

Es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases. (Wikipedia, 2016)

4. NTU

Unidad nefelométrica de turbidez, es una unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido, el instrumento utilizado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro. (Wikipedia, 2014)

5. Parámetro

Es una constante o una variable que aparece en una expresión matemática y cuyos distintos valores dan lugar a distintos casos en un problema. (Wikipedia, 2015)

6. Plan HACCP

Documento preparado de conformidad con los principios del sistema de HACCP, de tal forma que su cumplimiento asegura el control de los peligros que resultan significativos para la inocuidad de los alimentos en el segmento de la cadena alimentaria considerado. (Departamento de Agricultura , 1997)

7. Propiedades organolépticas

Son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, por ejemplo su sabor, textura, olor, color. (Wikipedia, 2016)

8. Saturación

En el proceso de filtración se le conoce como saturación cuando el medio filtrante llega a su capacidad máxima, es decir, que ha acumulado la suficiente cantidad de contaminantes impidiendo el flujo adecuado del líquido. (Nicul, 2012)

9. Tierra diatomácea

También llamada tierra de infusorios y harina de fósiles, es una sílice amorfa finamente dividida que se halla constituida por esqueletos de diatomeas, utilizada como medio filtrante. (Carraher & Seymour, 2002)

10. Tortuoso

Que tiene muchas curvas, vueltas y rodeos. Que es poco claro y pretende ocultar la verdadera intención o propósito. (Farlex, 2015)

11. Turbidez

Se entiende por turbidez o turbiedad la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. (Wikipedia, 2015)

12. Turbidímetro

Es un instrumento para medir partículas suspendidas en un líquido. Esto lo hace empleando una fotocelda colocada en un ángulo de 90° con respecto a una fuente luminosa. (Wikipedia, 2014)

13. Variable dependiente

La variable dependiente puede caracterizarse “como aquel aspecto conductual donde esperamos encontrar el efecto producido por los cambios operados en la variable independiente”. (Arnau Gras, Angera Argilaga, & Gomez Benito, 1990)

14. Variable independiente

Es cualquier variable manipulada directa o indirectamente por el experimentador. (Arnau Gras, Angera Argilaga, & Gomez Benito, 1990)



Mazatenango, Suchitepéquez 07 de Noviembre del 2,016

Comité de Trabajo de Graduación

Ingeniería en Alimentos

CUNSUROC – USAC

Presente

Respetables miembros:

De manera atenta nos dirigimos a ustedes deseándoles éxitos en sus actividades académicas.

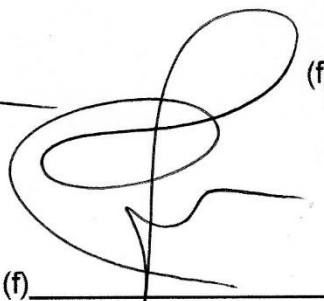
Por este medio hacemos constar que hemos revisado el Informe Final del Trabajo de Graduación titulado **“RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAUDAL DE ALIMENTACIÓN Y TURBIDEZ INICIAL PARA REDUCIR EL TIEMPO DE FITLRACIÓN DE RON AÑEJO, EN UNA INDUSTRIA PRODUCTORA DE RONES DE GUATEMALA”** presentado por la estudiante **Sigrid Waleska Gramajo López** identificada con el número de Carné: **201040317** y estamos de acuerdo con el contenido del mismo por lo que aprobamos su presentación.

Sin otro particular, nos despedimos de ustedes.

Deferentemente,

(f) 

Inga. Silvia Guzmán

(f) 

Ing. Víctor Nájera

(f) 

Ing. Mynor Cárcamo
Mynor Enrique Cárcamo González
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2859
Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos



Mazatenango, Suchitepéquez 10 de noviembre de 2,016

Ph.D. Marco Antonio Del Cid Flores
Coordinador de Carrera
Ingeniería en alimentos
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Ph.D. Marco del Cid:

Cumpliendo con el reglamento del Trabajo de Graduación de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, le informo que el estudiante: **Sigrid Waleska Gramajo López**, identificada con el número de carné **201040317**, ha sustentado el examen de Seminario II con el informe final del Trabajo de Graduación Titulado "**Relación de las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial para reducir el tiempo de filtración de ron añejo, en una industria productora de rones de Guatemala**", el cual ha cumplido con los requisitos que exige el reglamento, dada aprobada dicha evaluación.

Sin otro particular quedo a sus órdenes.

Deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Aurora Carolina Estrada



Secretaría Comisión de Trabajo de Graduación



Mazatenango, Suchitepéquez 20 de febrero de 2,017

Director

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Director:

De conformidad con el cumplimiento de mis funciones como Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, he tenido a bien revisar el informe final del Trabajo de Graduación Titulado **"Relación de las variables de caudal de alimentación y turbidez inicial para reducir el tiempo de filtración de ron añejo, en una industria productora de rones de Guatemala"**. El cual ha sido presentado por la T.U **Sigrid Waleska Gramajo López**, identificada con el número de carné **201040317**.

Dicho informe llena los requisitos para optar al título de Ingeniero en Alimentos, en el grado académico de Licenciado, por lo que solicito la autorización del IMPRÍMASE.

Sin otro particular, me es grato despedirme de usted.

Deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ph.D. Marco Antonio Del Cid Flores
Coordinador de Carrera
Ingeniería en alimentos





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-02-2017

DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, cinco de abril de dos mil diecisiete-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes de la Comisión de Tesis y del Secretario del comité de Tesis, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: **“RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAUDAL DE ALIMENTACIÓN Y TURBIDEZ INICIAL PARA REDUCIR EL TIEMPO DE FILTRACIÓN DE RON AÑEJO, EN UNA INDUSTRIA PRODUCTORA DE RONES DE GUATEMALA”** de la estudiante: **Sigrid Waleska Gramajo López**, carné **201040317** de la carrera Ingeniería en Alimentos.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, enclosed within an oval shape.

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano
Director - CUNSUROC



/gris