



CADI 2016

7,8 Y 9 DE SEPTIEMBRE
RESISTENCIA - CHACO

ISBN 978-950-42-0173-1



9 789504 201731



III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA

En conjunción con:

CAEDI 2016
IX CONGRESO ARGENTINO DE
ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA



**UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL
RESISTENCIA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL NORDESTE
FACULTAD
DE INGENIERIA**



confedi

ISBN 978-950-42-0173-1

Editores:

Alejandro Farias

Jorge Pilar

Cesar J. Acuña

CADI 2016

III CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA

En conjuncion con:

CAEDI 2016

IX CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA

7,8 y 9 de Septiembre de 2016
Resistencia | Chaco | Argentina

Actas del III Congreso Argentino de Ingeniería: CADI 2016. 1° Edición
Compilado por Alejandro Rubén Farías, Jorge Pilar, César J. Acuña
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia - 2016.
Libro digital, PDF - Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-42-0173-1



III CADI
IX CAEDI
2016



EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE CERVEZA

Nancy M. J. Martínez Amezaga, Grupo UTN QuiTEx (Química Teórica y Experimental), IQUIBA-NEA- UNNE, CONICET, Facultad Regional Resistencia UTN, jimena@frre.utn.edu.ar

Elisa I. Benítez, Grupo UTN QuiTEx (Química Teórica y Experimental), IQUIBA-NEA- UNNE, CONICET, Facultad Regional Resistencia UTN, ebenitez@frre.edu.ar

Nélida M. Peruchena, IQUIBA-NEA- UNNE, arabeshai@yahoo.com.ar

Gladis L. Sosa, Grupo UTN QuiTEx (Química Teórica y Experimental), IQUIBA-NEA- UNNE, CONICET, Facultad Regional Resistencia UTN, glsoa@frre.utn.edu.ar

Jorge E. Lozano, PLAPIQUI (UNS-CONICET), jlozano@plapiqui.edu.ar

Resumen

A pesar del desarrollo de nuevos métodos, la filtración tradicional con kieselguhr como ayuda filtrante, continúa siendo el principal método para la clarificación de cerveza. Sin embargo, a nivel mundial, la disposición final del kieselguhr utilizado presenta cada vez más controles, dificultando esta práctica. Teniendo en cuenta esta dificultad se requiere optimizar la cantidad de ayuda filtrante en función de la filtrabilidad. Se modeló la filtrabilidad en función de las variables turbidez y viscosidad de la cerveza filtrada, por ser las más influyentes. Se encontró el punto máximo de filtrabilidad donde los valores de turbidez y viscosidad optimizan la velocidad de filtración que corresponde a 1 NTU y 1,63 mPa.s para una cantidad de tierra de diatomea de 0,0354 g/cm². Se pretende que los datos obtenidos sirvan para repetir la experiencia a escala industrial y con distintos tipo de ayudas filtrantes y diferentes granulometrías, permitiendo analizar la influencia de cada variable sobre el flujo de filtrado.

Palabras clave

Cerveza, Filtración, Viscosidad, Turbidez.

1. Introducción

La cerveza, previo a su filtración, contiene una concentración significativa de partículas en suspensión que incluyen levaduras, restos celulares y otros agregados tales como los formados por proteínas y polifenoles, tan pequeños que cuentan con tamaños inferiores a un micrón. Tanto las partículas visibles a simple vista como las de menor tamaño deben ser eliminadas por filtración, puesto que, en caso contrario, las últimas formarán una turbidez conocida como velo postenvasado. Estos factores dificultan y limitan las tecnologías adecuadas para la filtración de cerveza.

El método tradicional de filtración con ayudas filtrantes, particularmente con tierra de diatomeas o kieselguhr, presenta una gran presión para ser eliminado del proceso de cervecería que seguirá creciendo por motivos ambientales [1]. La eliminación del kieselguhr usado para este fin es considerado un problema, principalmente por el costo que implica. La disposición del mismo como relleno sanitario tiene cada vez más controles, dificultando esta práctica. En Alemania, por ejemplo, se lo toma como un desecho químico, lo cual encarece aún más su utilización [2]. Por ello resulta necesario plantear una manera de relacionar la composición de la cerveza con la reducción de flujo de filtrado para una dada cantidad de ayuda filtrante, con suficiente información como para ser utilizada en la industria. Se busca encontrar un modelo tal que permita predecir el comportamiento del flujo de filtrado para una

determinada cantidad de ayuda filtrante y reducir o aumentar esa cantidad de manera de utilizar una concentración óptima en cada caso.

A partir de la ecuación de la ley de Darcy [3], se sabe que el flujo de filtrado a través del filtro es inversamente proporcional a la viscosidad del fluido permeado, en este caso, la cerveza filtrada, por lo cual esta variable es un factor evidentemente importante en este diseño. Por otro lado, la turbidez está relacionada con la cantidad de partículas dispersas en el líquido. Estudios similares a este trabajo han analizado la influencia de los diferentes polisacáridos sobre la viscosidad, pero no así, su influencia sobre la filtrabilidad. Por lo tanto, es posible formular un modelo de ajuste de los datos en función de las dos variables más influyentes, turbidez y viscosidad de la cerveza filtrada, y predecir la filtrabilidad para una cierta cantidad de tierra de diatomeas.

2. Materiales y Métodos

2.1- Equipo para el análisis de filtrabilidad

Para poder filtrar con tierra de diatomeas se requiere de un filtro a presión, que es un equipo que tiene en su interior varios discos o platos horizontales cubiertos con telas, por las cuales pasa el líquido a filtrar. La filtración consiste en cubrir dichas telas con una capa de ayuda filtrante, haciendo circular por el filtro, por medio de una bomba, una suspensión de tierra de diatomeas en agua. Una vez formada la “precapa”, con la misma bomba se comienza a pasar cerveza a través de la misma.

El equipo de filtración utilizado se esquematiza en la Figura 1, el cual imita una etapa de un filtro de hojas horizontal. Está compuesto de 2 embudos büchner de polipropileno superpuestos, de manera tal que el flujo de cerveza circule a través del filtro. En el modelo final (Fig. 2) se utilizaron bridas y cierres de goma para mantener los cambios en la presión a medida que se formaba la capa de sólidos filtrados y disminuyendo el flujo de filtrado, y a su vez, para evitar pérdidas de cerveza.

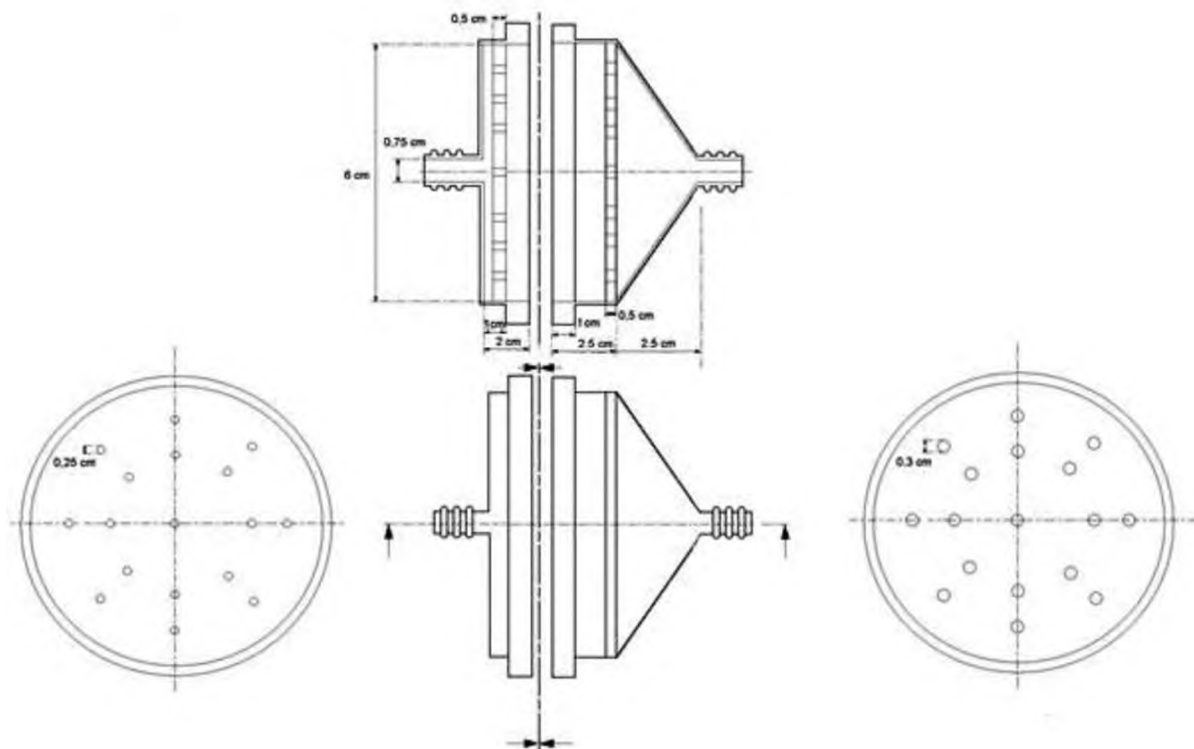


Figura 1- Modelo del equipo de filtración a escala piloto diseñado, cuenta con un soporte sobre el cual se colocar la precapa de tierra de diatomeas.

Para la preparación de la precapa (Fig. 3) se utilizaron tierras de diatomeas (Standard Super-Cel, porosidad media = $3,5\ \mu\text{m}$, permeabilidad = $2,8 \times 10^{-13}\ \text{m}^2$, Refil, Argentina) sobre soporte de tela de 6 cm de diámetro. La misma se formó haciendo circular una solución de agua destilada con 1 gramo de tierras, a través del soporte, utilizando una bomba de vacío Marca Waterlink, Modelo ACM 5R, Caudal de $5\ \text{m}^3/\text{h}$ y un vacío de $0,03\ \text{kPa}$.



Figura 2 - Equipo de filtración escala Piloto.



Figura 3 - Precapa de Tierra de diatomeas.

2.2- Preparación de las muestras

Para la preparación de las muestras a evaluar se siguió el proceso representado en la Figura 4. Dado que fue necesario conseguir una cerveza con una viscosidad y turbidez mayor, con el objetivo de evaluar desde mayores valores de flujo de filtrado a los esperados, se utilizó la mitad del agua necesaria en el proceso global de elaboración de cerveza y un fermentador más pequeño. Se preparó un volumen total de 10 L de cerveza. La turbidez alcanzada luego del reposo, descrito en el proceso global fue de $99,0 \pm 0,4$ NTU. La concentración de levaduras, de $16,25 \times 10^3$ cel/mL, es decir, se mantiene inferior a 2×10^5 cel/mL. Por debajo de este último valor debe encontrarse una cerveza para poder realizar una filtración en condiciones óptimas [4]. Las partículas coloidales fueron aisladas en primer lugar por centrifugación y las restantes fueron recuperadas sobre membranas de microfiltración, dado que, según describe Buttrick [5] el proceso de microfiltración se requiere de una centrifugación previa, caso contrario las membranas se obstruyen.

Para precipitar y separar las partículas que luego se utilizaron para agregar a las muestras hasta alcanzar la turbidez deseada se utilizó una centrífuga de mesa, marca Zelian, modelo Tyfon II (ZTO-2415, industria Argentina) a una velocidad de 3600 rpm en 24 tubos de 15 ml de capacidad.

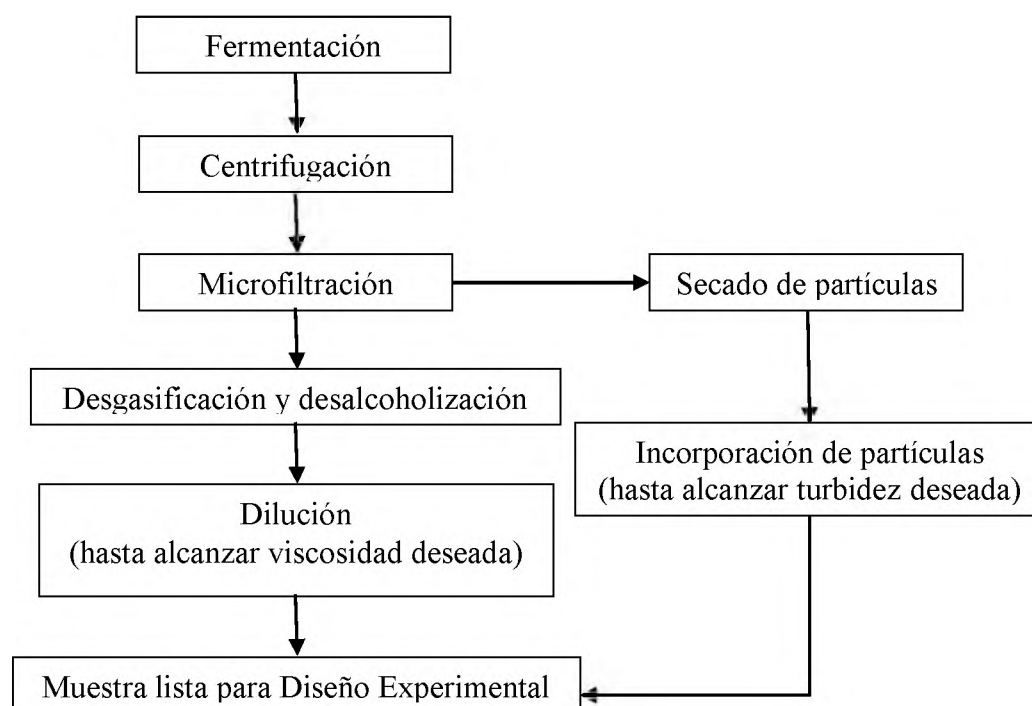


Figura 4- Representación esquemática de la preparación de las muestras.

Una vez aisladas las partículas, fueron secadas al vacío a 60 °C y redisueltas en las muestras de viscosidades conocidas. Estas muestras fueron obtenidas como sigue: la cerveza microfiltrada, luego de la separación de las partículas fue desgasificada y desalcoholizada por calentamiento de la muestra a 60 °C durante 2 horas. La viscosidad de esta muestra fue de 1,91 mPa.s. Se prepararon las muestras para el diseño de experimento reduciendo esta viscosidad con agua destilada. Una vez alcanzada la viscosidad requerida por el diseño se resuspendieron en las muestras las partículas coloidales aisladas hasta obtener las turbideces reportadas en el diseño de experimentos. Los valores de viscosidad utilizados están entre 1,45

y 1,91 mPa.s, ya que son los valores que pueden ser encontrados en cerveza a temperatura ambiente [6]. Se formularon 9 modelos de cerveza de 200 ml por triplicado.

2.3- Evaluación de la Filtrabilidad

Los datos de velocidad de filtración fueron calculados a partir de los valores de volumen de cerveza que atravesaba el filtro en función del tiempo, datos que fueron recogidos a partir de la primera gota de filtrado. Se tomaron los valores de tiempo (Δt) cada 10 ml de cerveza filtrada (ΔV), para un volumen total de 200 ml. Se representaron, para cada ensayo de filtrabilidad, la velocidad de filtración definida como la relación $\Delta V/\Delta t$ en función del tiempo. Esta variable, a medida que transcurre la filtración, aumenta y luego de un cierto tiempo comienza a descender debido al ensuciamiento de la torta. El punto en el cual se registra la máxima variación del volumen en función del tiempo se denomina velocidad máxima de filtración (V_F) y se toma este valor como representativo del proceso de filtración, para cada ensayo de filtrabilidad [7].

Luego del ensayo de filtración se controlaba el estado de la torta, ya que en caso de que se encontrara rota o con alguna falla, las lecturas no serían representativas de la filtrabilidad de la muestra.

3. Resultados y Discusión

3.1- Diseño experimental

Los experimentos fueron realizados al azar a fin de minimizar la variabilidad debida a factores no controlables durante la realización del experimento. La Tabla 1 muestra los niveles de las variables independientes y la matriz del diseño experimental junto a sus respuestas. Se realizaron 14 experimentos de filtrabilidad (V_F) variando la viscosidad y la turbidez.

Tabla 1- Valores de viscosidad y turbidez junto a los valores experimentales de filtrabilidad.

Nº de experimento	Orden de Corrida	Variables del proceso		Filtrabilidad
		Viscosidad η (mPa.s)	Turbidez τ (NTU)	V_F (mL/min)
1	9	1,55	20,00	265,77
2	13	1,85	20,00	243,49
3	10	1,55	80,00	223,38
4	7	1,85	80,00	212,05
5	11	1,49	50,00	244,11
6	3	1,91	50,00	218,38
7	12	1,70	7,57	265,91
8	5	1,70	92,43	212,77
9	6	1,70	50,00	253,83
10	8	1,70	50,00	245,99
11	2	1,70	50,00	253,39
12	14	1,70	50,00	247,69
13	4	1,70	50,00	253,56
14	1	1,70	50,00	252,49

3.2- Interpretación gráfica de las interacciones del modelo

Las figuras 5 y 6 contienen las gráficas de las respuestas para la viscosidad y la turbidez frente a la respuesta de la V_F , respectivamente. En ellas se muestran claramente los efectos de estos parámetros en la respuesta y sus interacciones. En la figura 5 pueden observarse que los valores de filtrabilidad obtenidos para valores bajos de viscosidad, aquí la filtrabilidad máxima se encuentra en un punto posterior al valor mínimo de viscosidad. Este hecho podría explicarse teniendo en cuenta la energía de interacción entre agregados. Cuando las partículas se encuentran en baja concentración los choques entre ellas por el movimiento Browniano son menos frecuentes y se encuentran dispersas en el medio líquido. A medida que la concentración de partículas aumentan y por lo tanto la frecuencia de choques aumenta se comienzan a agregar y a medida que sucede la filtración bloquean los poros del medio filtrante. Para los valores menores de filtrabilidad, por baja viscosidad, es probable que las partículas aisladas generen resistencia dentro de los poros de la ayuda filtrante y por ello la filtrabilidad se reduzca, en este caso no alcanzándose a formar agregados coloidales. Sin embargo, mayores estudios se requieren para verificar esta posible hipótesis.

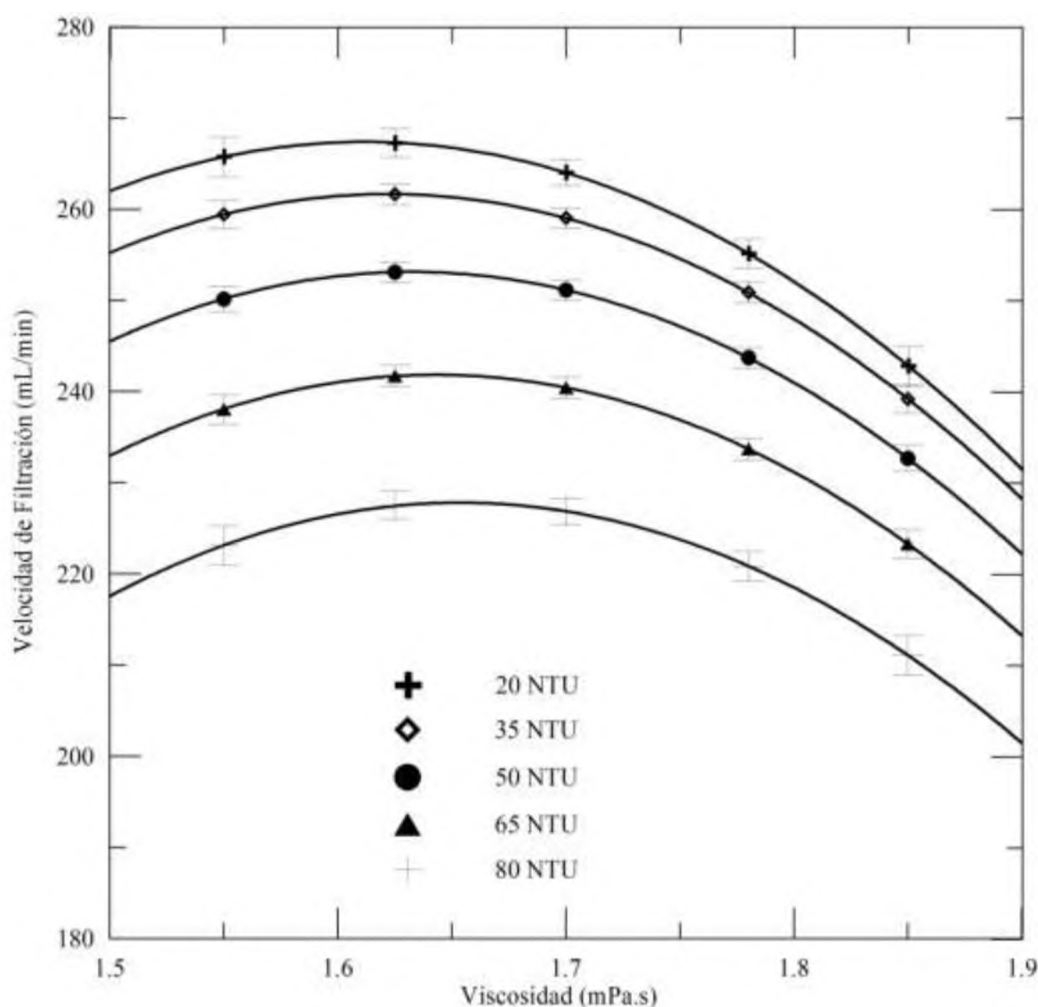


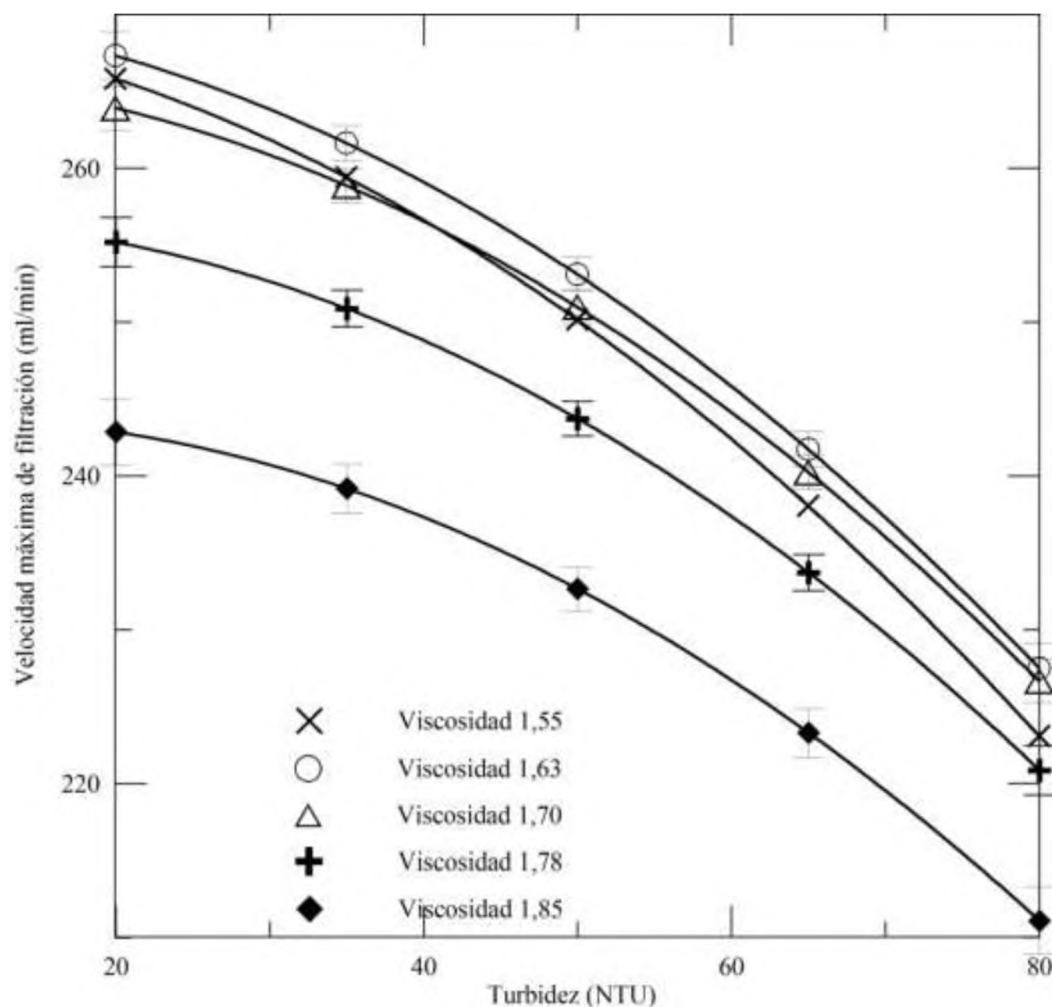
Figura 5- Velocidad de filtración vs Viscosidad para valores crecientes de turbidez.

En la Tabla 2 y en la Figura 5, se puede observar cómo cae la filtrabilidad a medida que los valores de Turbidez aumentan. Para una viscosidad de 1,55 mPa.seg, la V_F decae en un 16,07%, para una viscosidad de 1,7 mPa.seg decae un 14,10% y para una viscosidad de 1,85 decae un 13,08%, todos para el rango 20 a 80 NTU. Es decir, a menor viscosidad es más importante el efecto de la turbidez sobre la filtrabilidad.

Tabla 2- Variación de la velocidad de filtración (mL/min) a diferentes valores de turbidez, a viscosidad constante.

Viscosidad (mPa.s)	Turbidez (NTU)				
	20	35	50	65	80
1,55	265,84 ± 2,19	259,43 ± 1,58	250,17 ± 1,41	238,07 ± 1,58	223,12 ± 2,19
1,63	267,33 ± 1,56	261,65 ± 1,16	253,12 ± 1,12	241,75 ± 1,16	227,53 ± 1,56
1,70	264,09 ± 1,41	259,05 ± 1,12	251,16 ± 1,13	240,42 ± 1,12	226,85 ± 1,41
1,78	255,20 ± 1,60	250,88 ± 1,18	243,72 ± 1,13	233,72 ± 1,18	220,87 ± 1,60
1,85	242,87 ± 2,19	239,19 ± 1,58	232,67 ± 1,41	223,31 ± 1,58	211,10 ± 2,19

De estas gráficas se observa que a mayores valores de turbidez, mayor es la curvatura de la V_F para los diferentes valores de viscosidad. Por otro lado, a medida que aumenta la viscosidad aumenta la V_F , como puede ser observado en la Figura 5, al encontrar en la zona de turbidez igual a 80 NTU los menores valores de V_F .

**Figura 6-** Velocidad de filtración vs Turbidez para valores crecientes de viscosidad.

Ahora bien, teniendo en cuenta ambas variables, la turbidez podría convertirse en un factor controlable, a diferencia de la viscosidad, teniendo en cuenta los posibles tratamientos previos a la filtración, que en este caso se optaron por evitar con el fin de mantener valores altos de

turbidez, se concluye que, en el caso de la industria sería aconsejable manejar los períodos de reposo y realizar una operación de centrifugación, de manera de disminuir estos valores hasta que se logren las mejores condiciones de operación, reduciendo la obstrucción de la torta a valores razonables.

3.3- Localización del punto máximo

Existe un punto donde los niveles de viscosidad y turbidez optimizan la respuesta predicha (V_F). Este punto se encuentra donde las derivadas parciales de las ecuaciones, obtenidas a partir de las gráficas 5 y 6, se hacen cero [8].

$$\frac{\partial \text{Filtrabilidad}}{\partial \eta} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \text{Filtrabilidad}}{\partial \tau} = 0 \quad (2)$$

Como se observa en la figura 5 la filtrabilidad máxima no se encuentra a valores bajos de viscosidad, seguramente por el tamaño de las partículas que se espera encontrar debido al movimiento browniano a dichas viscosidades, como se explica anteriormente. De la Figura 5 se obtiene un valor máximo promedio de las curvas de filtrabilidad vs viscosidad igual a 1,63 mPa.s. Es por ello, que este valor teórico obtenido de 1,63 mPa.s es un valor esperado, pues concuerda con lo obtenido experimentalmente (y observado en dicha gráfica). De la Figura 6 se obtiene un valor máximo promedio de las curvas de filtrabilidad vs turbidez igual a 1 NTU. Dado que el Código Alimentario Argentino prevé valores de turbidez menores 3 FTU (o 3 NTU) para la cerveza filtrada, una turbidez de entrada a la etapa de filtración de 1 NTU sería ilógica y fuera del rango de trabajo, por lo cual se lo toma sólo como un máximo teórico.

4. Conclusiones y recomendaciones

El modelo aquí planteado ha permitido modelar el flujo de filtrado identificando las influencias de las variables más representativas del proceso. Asimismo el diseño constituye un punto de partida para comprender la influencia de las variables más importantes en el proceso de filtración: la turbidez y la viscosidad. Con este diseño fue posible obtenerse un valor máximo de filtrabilidad a un valor de teórico de turbidez de 1 NTU, que se encuentra fuera del rango de trabajo, por lo cual, por cuestiones de practicidad sería conveniente trabajar a valores de turbidez mayores, evaluando de este modo el comportamiento de la filtrabilidad respecto de los valores ideales esperados. Por otro lado, se encuentra un valor de viscosidad superior al mínimo, 1,63 mPa.s, para el cual la filtrabilidad es máxima. Este hecho podría explicarse teniendo en cuenta la energía de interacción entre agregados y podría indicar un cambio en el mecanismo ensuciamiento de la torta filtrante.

Sería conveniente evaluar este modelo a mayores volúmenes de muestra filtrándolas durante un tiempo mayor, de manera de poder analizar el comportamiento de la filtrabilidad en el tiempo y poder evaluar mejor los porcentajes de la reducción de velocidad de filtrado. Otro factor que también debería analizarse es el uso de diferentes espesores y permeabilidad de la torta. Por lo cual, este modelo constituye un punto de partida para realizar futuras evaluaciones sobre el proceso de filtración con el proceso convencional. También podría utilizarse este modelo con otros tipos de tecnologías de filtración, realizando una comparación con el método convencional.

5. Referencias

- [1] FREEMAN, G.J. (2015). Reducing microbial spoilage of beer using filtration. *Brewing Microbiology. Food Science, Technology and Nutrition*. Woodhead Publishing Series. Campden BRI, Nutfield, Surrey, UK, v.11, p. 241–251.
- [2] BUTTRICK, P. (2007). Filtrarion – the facts: a survey of systems and methods. *The Brewer and Distiller International*, V. 3, Issue 12, p. 12–19.
- [3] BERK, Z. (2013). Filtration and Expression. *Food Process Engineering and Technology* (2nd Ed.). C. 8, P. 217–240
- [4] BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A. Y STEVENS, R. (2004). Beer Maturation and Treatments. *Brewing Science and Practice*. Woodhead Publishing Limited. Cambridge (UK). p 881.
- [5] BUTTRICK, P. (2010). Choices, choices: beer processing and filtration. *Brewer and Distiller International*, V 6, p. 10–16.
- [6] JONKOVA G., SURLEVA A. (2013). Impact of Polysaccharides of Malt on Filterability of Beer and Possibilities for their Reduction by Enzymatic Additives. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. V. 48, Issue 3, P. 234-240
- [7] SADOSKY, P.; SCHWARZ P. B. y HORSELY R. D. (2002). Effect of arabinoxylans, b-glucan, and dextrans on the viscosity and membrane filterability of a beer model solution. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, V 60, p. 153–162.
- [8] MONTGOMERY, D. C. (2001). Design and Analysis of Experiments. 5th ed. Wiley, New York. P. 427-430.