



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Ingeniería en Alimentos

Diseño de un Filtro para Cerveza Artesanal

Memoria presentada como parte de
los requisitos para optar al título de
Ingeniero en Alimentos

Carla Cárdenas Morales

Valdivia-Chile
2016

PROFESOR PATROCINANTE:



Marcia Costa Lobo
Ing. Civil Bioquímico, Dipl. Ing. Industrial
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

PROFESORES INFORMANTES:



Elton Francisco Morales Blancas
Ingeniero en Industrias Alimentarias, Mg. en Tec. Alim.
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos



Kong Shun Ah-Hen
Ing. de Alimentos; Dr. Ing.
Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, como siempre, a mis padres, que desde pequeña me incentivaron a volar alto, gracias por nunca cerrar mis alas.

A mi hermano, que llegó como un regalo del cielo a alegrar mi infancia, tú tienes que llegar mucho más arriba, te dejo el camino abierto, y siempre cuenta conmigo.

A la familia en general, por confiar en mí, por darme ánimos, por quererme y ayudarme en todo momento.

A Juan Carlos, mi amor, a quien me dio su mano hace casi 8 años atrás para no soltarla más, fue también partícipe de este documento y me ayudó en la creación de los diseños y el manufactura del filtro modelo.

A don Américo Tralma, por facilitar la cerveza “Cumbres del Ranco” para que pudiese realizar las pruebas en el laboratorio.

A don Patricio Fuentes, ingeniero en mantención industrial, por tan amablemente ofrecerse a dibujar los planos en computador.

A don Juan Morales, jefe y gerente de la maestranza, por acceder a que se construya en filtro modelo en empresa, además de facilitar materiales y tener la voluntad de ayudar.

A mis amigas de la vida, Camila y Victoria, gracias por alegrar mis días desde hace tantos años y por soportar algunos arrebatos, por ser las incondicionales, las mejores. Siempre pueden contar con esta amiga-hermana que las quiere.

A Aliciela, Carolina y Prissila, estos años de universidad fueron mucho más gratos en su compañía, hicieron de cada día un buen motivo por el que levantarse en las frías mañanas de Valdivia y salir de nuestro segundo hogar a veces a altas horas de la noche.

A todos los profesores que han enderezado mi camino, por compartir sus conocimientos y por la gran vocación que tienen.

ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Elaboración de la cerveza artesanal	4
1.2	Turbidez de la cerveza	5
1.2.1	Turbidez biológica	5
1.2.2	Turbidez coloidal	6
1.3	Filtración	7
1.4	Fundamentos de filtración	8
1.5	Flujo del líquido a través de la tela	11
1.6	Clarificación de la cerveza	12
1.6.1	Tierra de diatomeas	13
1.6.2	Perlita	13
1.7	El medio filtrante	14
1.8	El filtro prensa	15
2	MATERIAL Y MÉTODO	16
2.1	Ubicación de la etapa experimental	16

2.2	Obtención de la cerveza	16
2.3	Análisis	16
2.3.1	Porcentaje de sólidos	16
2.3.2	Densidad de la cerveza	17
2.3.3	Viscosidad de la cerveza	17
2.3.4	Determinación de la resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante	19
3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
3.1	Resultados de los análisis de laboratorio	20
3.1.1	Porcentaje de sólidos	20
3.1.2	Densidad de la cerveza	21
3.1.3	Viscosidad de la cerveza	21
3.1.4	Determinación de la resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante	22
3.2	Resultados del diseño del filtro	23
3.2.1	Potencia de la bomba utilizada	24
3.2.2	Estimación resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante en el filtro	24
3.3	Cotización materiales	24
3.3.1	Medio filtrante	24
3.3.2	Bomba	25

3.3.3	Placas	25
3.4	Resumen del diseño del filtro	26
3.5	Gasto total para la manufactura del filtro prensa	27
4	CONCLUSIONES	28
5	RECOMENDACIONES	29
6	BIBLIOGRAFÍA	30
7	ANEXOS	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Valores obtenidos en la determinación del porcentaje de sólidos mediante filtración	20
2	Valores obtenidos en la determinación de la densidad de la cerveza	21
3	Valores obtenidos en la determinación de la viscosidad de la cerveza	21
4	Valores obtenidos para el cálculo de resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante	22
5	Valores resultantes de la regresión lineal en la obtención de la resistencia de la torta y del medio filtrante	23
6	Selección del mejor proveedor del medio filtrante	25
7	Características técnicas del filtro	26
8	Costo total de la manufactura final del filtro	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Proceso bioquímico de la fabricación de cerveza	5
2	Interacciones proteína-polifenol	7
3	Principio de filtración	8
4	Mediciones experimentales para la filtración de torta	11
5	Diferentes tipos de diatomitas	14
6	Equipo de filtración	17
7	Viscosímetro de Ostwald	18
8	Regresión lineal obtenida	22

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Cálculo para la estimación del número de placas	33
2	Cálculos para la estimación de la potencia de la bomba	33
3	Determinación de α' y R'_m para el filtro prensa	35
4	Elaboración cerveza artesanal	36
5	Diseño de las placas	37
6	Diseño filtro prensa	38
7	Partes del filtro prensa detalladas en el diseño	39
8	Cotización gastos de envío medio filtrante	40
9	Cotización placas en empresa "P"	41
10	Cotización bomba	42
11	Cotización filtro	43

RESUMEN

Uno de los problemas que presentan los productores de cerveza artesanal en la Región de Los Ríos es la levadura sobrante que presenta este producto, creando un sedimento en el envase final y siendo desagradable para el consumidor, por este motivo, se diseñó un filtro prensa con el principal objetivo de ser utilizado en la elaboración de cerveza artesanal permitiendo disminuir la carga de levadura presente y lograr un aumento de la vida útil.

En el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Austral de Chile se determinaron las características de la cerveza artesanal tales como porcentaje de sólidos, densidad, viscosidad y resistencia de la torta y del medio filtrante. Para esto se utilizó la cerveza tipo “red amber ale” elaborada por Américo Tralma, cervecero de la Provincia del Ranco, denominada “Cumbres del Ranco”.

Entre los equipos empleados, está el sistema de filtración al vacío, donde a escala laboratorio se intentó reproducir una filtración a nivel industrial, a través del cual se determinó el porcentaje de sólidos y la resistencia de la torta y del medio filtrante. Para determinar la viscosidad de la cerveza se utilizó el viscosímetro de Ostwald tipo 509 07 y la densidad se determinó entre el cociente de la masa y el volumen del líquido.

Con los resultados de estas mediciones fue posible estimar las características finales del filtro, el que debe ser capaz de procesar 800 litros por hora de cerveza.

Las dimensiones del filtro prensa final son de 808x305x650 (largo x ancho x alto) y tiene un costo total de \$5.837.350, construido totalmente con materiales de calidad alimentaria.

SUMMARY

One of the problems of the craft beer producers in the Región de Los Ríos, is the excess yeast and its sedimentation in the final container, this is unpleasant for the consumer, for this reason, a filter press was designed with the main objective to be use in the craft beer brewery, allowing decrease the yeast and achieve increase lifetime.

In Biotechnology laboratory of the University, were determined the craft beer characteristic, such as, solid percentage, density, viscosity and cake and filter means resistance. For that, it was used the beer type "red amber ale" brewed by Américo Tralma in Provincia del Ranco, named "Cumbres del Ranco".

Among the equipment used, there is a vacuum filtration system, where it tried to imitate filtration laboratoy scale to industrial scale, through which it was determinated the solid percentage and cake and filter means resistance. To determine the viscosity of the beer was used a Ostwals viscometer type 509 07 and density was determined between the ratio of the mass and volumen of liquid.

With the results of these measurements was posible to estimate the final filter characteristics,which must be able to process 800 liters per hour of beer.

The press filter measurements are 808x305x650 (Length x width x height) and its final cost is \$5.837.350, built entirely with food grade materials.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Real Academia Española, la cerveza es una “bebida alcohólica hecha con granos germinados de cebada u otros cereales fermentados en agua, y aromatizada con lúpulo, boj, casia, etc.” Según Ximena Bravo, gerente general de la Asociación de los Productores de Cerveza de Chile (ACECHI), el gusto de los chilenos por esta bebida ha aumentado, y en 10 años el consumo per cápita ha crecido 61,5%, pasando de 23 litros anuales en 2003, a los 42 litros en el año 2014¹

La Región de los Ríos se ha ido consolidando como la capital de la cerveza artesanal del país, participando 27 productores de esta bebida en la Unión Cervecera de Los Ríos (UCR) en el año 2015.

Para conocer la opinión de los cerveceros respecto a la filtración se les preguntó mediante correo electrónico si realizan dicho proceso y si conocen sus ventajas. Del total de 27 cerveceros sólo 13 contestaron, por lo que los datos entregados a continuación son basados en la opinión de ellos.

Un 77% de los productores de cerveza en la Región de Los Ríos pertenecientes a la UCR no realiza proceso de filtración, y de estos, el 60% afirma no tener el acceso, y en algunas ocasiones la falta de conocimientos, para realizar el filtrado a su producto. El 40% restante considera que la etapa de filtración no es necesaria, ya que afirman que un producto turbio define una cerveza de calidad artesanal y además aprovechan la levadura para generar la carbonatación.

El problema nace cuando la levadura comienza a decantar en la cerveza, creando un sedimento en la botella que no es agradable para el consumidor. Los productores de cerveza en la región evitan que esto suceda mediante la decantación de los residuos durante la maduración, sin embargo, durante temporadas altas como el verano deben producir un gran stock de cerveza y los tiempos de fermentación y maduración no son respetados, por lo que el proceso natural de decantación no se produce, influyendo en

¹ ALVAREZ, C. 2014. Consumo de cerveza crece más de 60% en una década. Diario Economía y Negocios. Disponible en: <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=124398>. Visitado: 18 nov. 2015

la vida útil y calidad del producto. Pese a lo anterior, el mayor problema se obtiene cuando la cerveza es destinada a ser envasada en barril, en este caso la carbonatación es artificial y la levadura se adhiere a las cañerías y mangueras, por lo que disminuye la duración del producto y el aspecto turbio que no es de agrado para todo consumidor.

1.1 Elaboración de la cerveza artesanal

Elaborar cerveza incluye las etapas mostradas en la Figura 8 del Anexo 4, donde se presenta un esquema básico del proceso.

La molienda tiene como objetivo triturar la malta para lograr un tamaño de partícula que permita una maceración adecuada. Es necesario que la cascarilla permanezca tan entera como sea posible para que pueda servir como filtro para la etapa posterior de filtrado del mosto, que permite la separación de la fase líquida con la fase sólida.

En la etapa de maceración, la malta ya triturada se mezcla con agua, cuya temperatura entrega a las enzimas las condiciones favorables para transformar el almidón en azúcares fermentables y las proteínas en péptidos y aminoácidos, que constituirán la fuente nitrogenada necesaria para la fermentación posterior. La maltosa es el sustrato para la levadura, y los péptidos contribuyen al cuerpo de la cerveza. Luego la mezcla se somete a filtración.

El mosto obtenido luego de la filtración se somete a la etapa de cocción, donde se calienta con el lúpulo hasta ebullición. Con ello se extraen las sustancias amargas del lúpulo, se elimina el exceso de agua y se consigue la esterilización del líquido.

En el enfriamiento se disminuye la temperatura desde los 85°C hasta los 8°C aproximadamente.

Posteriormente, en la etapa de fermentación ocurre la transformación de mosto en cerveza. El mosto frío se introduce en depósitos de fermentación y se le añade levadura, que crecen hasta agotar el oxígeno y fermentar los azúcares transformándolos en alcohol y dióxido de carbono. Pasado 7 días de fermentación, se eliminan las levaduras que sedimentan al fondo del estanque.

La maduración permite que la cerveza adquiera el sabor y aroma típicos, y decantando aún más las partículas presentes. El filtro de placas será utilizado en la etapa posterior

a la maduración y previo al envasado. (SUAREZ, 3013)

El proceso bioquímico en la elaboración de cerveza se basa en lo siguiente:

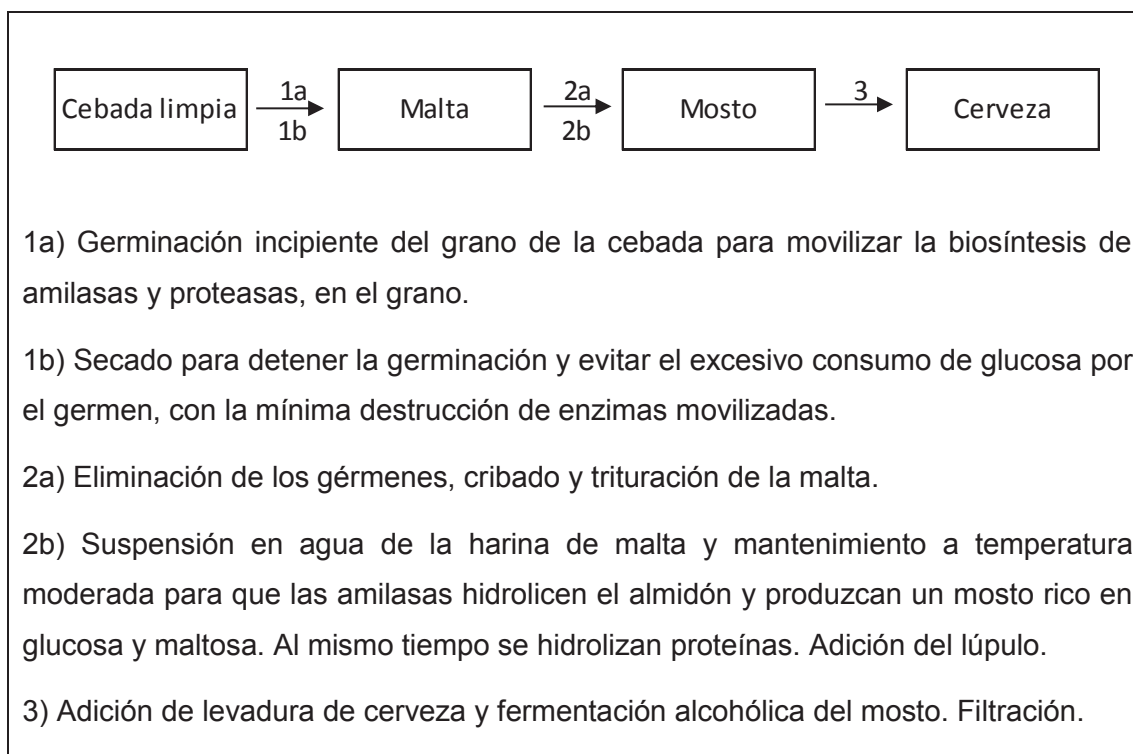


Figura 1. Proceso bioquímico de la fabricación de cerveza

FUENTE: PRIMO (1997)

1.2 Turbidez de la cerveza

La estabilidad de la cerveza se define como unidades de tiempo transcurridas hasta alcanzar un determinado valor de turbidez. La pérdida de brillo, el descenso de la transparencia, el grado de enturbiamiento, incluso la floculación, precipitación y sedimentación, son las sucesivas manifestaciones visuales de la falta de estabilidad o inestabilidad de la cerveza. Así, la turbidez u opacidad de la cerveza se puede deber a las siguientes causas: biológica, coloidal y química, ésta última debido a diversos agentes como el oxalato de calcio (ROS, 1980).

1.2.1 Turbidez biológica. La mayoría de las bacterias son incapaces de crecer en la cerveza, debido a que no pueden tolerar el pH bajo, alcohol y/o la falta de oxígeno para su respiración normal. La contaminación por microorganismos normalmente está supeditada a levaduras cerveceras y levaduras “salvajes”.

Según ROS (1980), los microorganismos que crecen en el mosto de debe principalmente a bajas tasas de siembra de levadura, levadura “insana”, cultivo inicial impuro, o a la contaminación de grandes cantidades de bacterias debido a técnicas inadecuadas de manejo.

1.2.2 Turbidez coloidal. La cerveza, desde el punto de vista de la estabilidad, es una disolución acuosa, ligeramente alcohólica y medianamente ácida, que contiene diversos componentes que se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Compuestos estables: disoluciones verdaderas (moleculares e iónicas)
- Compuestos inestables: disoluciones falsas de naturaleza coloidal, causantes de la inestabilidad de la cerveza (eventualmente pueden estar presentes en mayor o menor cantidad, determinadas sustancias en suspensión mecánica). Este último grupo es el que produce más problemas a la cerveza en cuanto a inestabilidad se refiere (ROS, 1980).

Los coloides presentes en la cerveza tienden a coagular en estructuras cada vez más grandes, hasta que luego de un tiempo se transforma en una turbidez visible que finalmente precipita. El tiempo que tarde en hacerse visible depende de diversos factores, como el contenido y tipo de proteínas, taninos (compuestos polifenólicos) del medio que involucra pH, temperatura, oxidación, presencia de sales, metales trazas, agitación y también de condiciones de exposición a la luz y adsorción en el filtro, que pueden acelerar o retardar la aparición de turbidez coloidal. (RODRIGUEZ, 2003)

Según HOUGH (1990), durante la cocción del mosto, su enfriamiento y la subsiguiente refrigeración de la cerveza, se insolubiliza, debido a que la proteína asociada a los polifenoles se manifiesta en forma de “turbios”. Al comienzo de la guarda, si se enfría a 0°C, la cerveza sufre la turbidez por el frío, que normalmente desaparece al entibiarla; pero si permanece mucho tiempo envasada “cría” una turbidez estable a la temperatura ambiente, la llamada turbidez permanente, que sólo desaparece cuando se calienta a unos 70°C para reaparecer al descender la temperatura.

En la Figura 2 se observa que las proteínas poseen un número determinado de sitios de unión a los polifenoles. En el caso de que exista igual cantidad de puentes de unión de polifenoles que de sitios de anclaje a las proteínas, se formarían complejos proteína-polifenol más grandes, y por lo tanto, mayor sedimento. Por otra parte, con una baja

concentración de proteína no se podrán establecer los puentes de unión entre las proteínas y polifenoles, quedando los complejos de menor tamaño, no evidenciando turbidez.

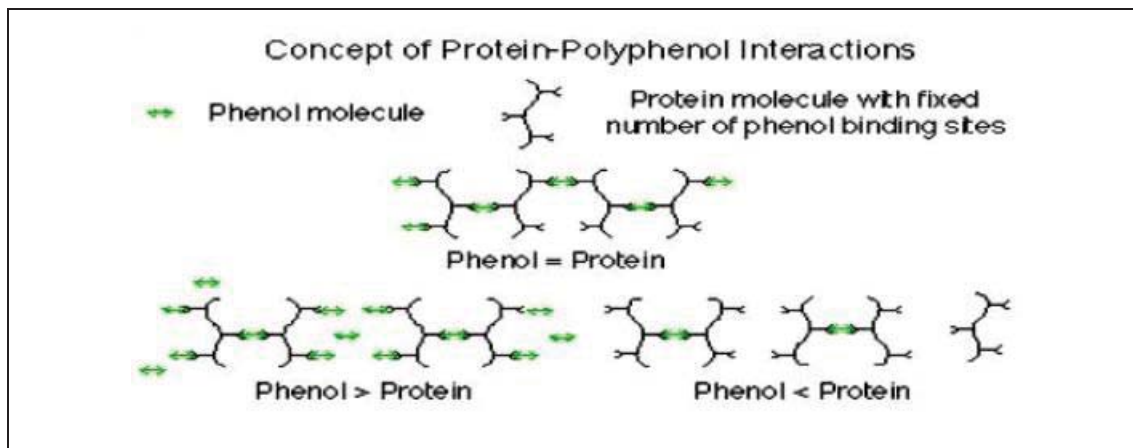


Figura 2. Interacciones de proteína-polifenol

FUENTE: SIEBERT (1999)

1.3 Filtración

Según IBARZ y BARBOSA-CÁNOVAS (2011) la filtración es una operación unitaria cuya finalidad es la separación de un sólido insoluble que está presente en una suspensión sólido-líquido, haciendo pasar dicha suspensión a través de una membrana porosa que retiene las partículas sólidas. A la membrana porosa se le denomina medio filtrante, mientras que las partículas retenidas en la membrana forman una capa que se llama torta y el líquido que atraviesa la membrana porosa y está exento de sólidos se denomina filtrado. La corriente valiosa procedente de un filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos (MCCABE *et al.*, 2002). Una operación típica de filtración se ilustra en la Figura 4 la cual muestra el medio filtrante, el soporte y la torta que se formará.

El porcentaje de sólidos contenidos en la mezcla y el tamaño de la partícula de los mismos son dos aspectos muy importantes a considerar al momento de hacer el diseño de un proceso de filtrado. De estos datos depende la selección del tipo y tamaño del equipo de filtración, material y tamaño del poro del medio filtrante, utilización de coadyuvantes como perlititas o tierras de diatomeas (CADENA, 2008).

Los principales factores que afectan a los procesos, determinan la efectividad, mediante los cuales se puede realizar la separación deseada y son la concentración de sólidos y tamaño de la partícula, temperatura, pH, presión, viscosidad y densidad. Estos parámetros hacen que la simple separación se convierta en una operación compleja.

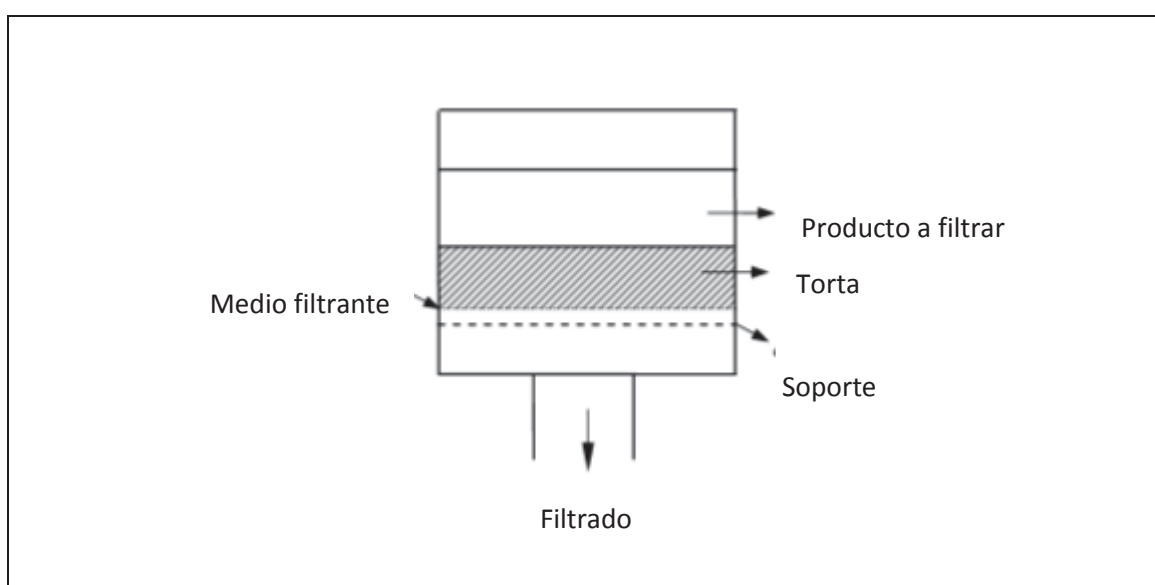


Figura 3. Principio de filtración

FUENTE: MENDIETA y PICADO (2002)

La filtración se considera una operación unitaria y forma parte de las separaciones mecánicas y está sustentada en las diferencias físicas de las partículas. Las metas de filtración son clarificación de sólidos, recuperación de sólidos, recuperación de líquidos, recuperación de ambas fases y filtración para facilitar otras operaciones como: presecado, lavado de materiales solubles depositados en los sólidos, etc. (FLORES y VILLEGAS, 1995).

1.4 Fundamentos de la filtración

Inicialmente, la suspensión pasa a través del medio filtrante, pero a medida que se va filtrando se forma la torta, que va aumentando su espesor, por lo que el fluido de la suspensión debe atravesar, no sólo el medio filtrante, sino también la torta formada (IBARZ y BARBOSA-CÁNOVAS, 2011). Para que el líquido pase a través de un medio

filtrante, se requiere de una presión que lo impulse y logre superar la resistencia que oponen las partículas del material poroso, más la resistencia de las partículas depositadas en la superficie de entrada del filtro. Consecuentemente hay un gradiente de presión entre la superficie de la torta filtrante y la superficie de salida del filtro, cuya magnitud depende de la presión inicial, tamaño del poro, espesor del medio filtrante y viscosidad del líquido.

La caída de presión se explica por la pérdida de energía cinética que sufre el fluido por el rozamiento con las partículas que forman los canales capilares de la torta y del filtro. Estos canales son de forma irregular, intrincados, de diferente longitud y tamaño, muy interconectados entre sí (CADENA, 2008).

Según IBARZ y BARBOSA-CÁNOVAS (2011), Hagen-Poiseuille estableció una ecuación para el cálculo de la caída de presión generada al pasar un líquido por un medio filtrante, considerando los canales capilares rectos y con flujo laminar. Posteriormente, otros científicos han introducido factores de corrección o constantes empíricas a dicha ecuación, con el fin de aplicarla al cálculo del flujo en canales capilares irregulares, llegando a la siguiente expresión:

$$V/t = \frac{A(P1 - P2)}{\mu (R1 + R2)L} \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen del líquido filtrado	μ = Viscosidad del líquido a filtrar
t = Tiempo de filtración	R1 = Resistencia del filtro
A = Área total de la superficie de filtración	R2 = Resistencia de la torta
P1 = Presión sobre la torta filtrante	L = Espesor de la torta
P2 = Presión en la descarga del medio filtrante	

La ecuación anterior indica que el flujo de filtración depende de la caída de presión entre los puntos de entrada y salida del filtro incluyendo la torta filtrante, de las resistencias de la torta y el filtro, la viscosidad y el espesor de la torta (IBARZ y

BARBOSA-CÁNOVAS, 2011).

Según IBARZ y BARBOSA-CÁNOVAS (2011), la ley de Darcy se explica como: el flujo de la filtración es proporcional a la caída de presión e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido.

Darcy introdujo el concepto de “permeabilidad del poro” de los medios filtrantes, considerando que la capacidad de filtración es una función directa de un factor de permeabilidad del coadyuvante utilizado en la filtración. Se han desarrollado procedimientos de laboratorio para determinar la permeabilidad de los distintos coadyuvantes, esta se expresa en unidades llamada Darcies.

$$V = \rho \frac{A(P1 - P2)}{\mu L} \quad (2)$$

Donde

V = Volumen del líquido filtrado

μ = Viscosidad del líquido a filtrar

ρ = Factor de porosidad

A = Área total de la superficie de filtración

P1 = Presión sobre la torta filtrante

P2 = Presión en la descarga del medio filtrante

L = Espesor de la torta

Las ecuaciones mencionadas anteriormente son de utilidad para efectuar e interpretar pruebas a nivel de laboratorio, encaminadas a lograr la determinación de las mejores condiciones para llevar a cabo una filtración o para observar la variación en el flujo al cambiar alguna de las condiciones de forma intencional. Sin embargo, para el diseño de equipos de filtración a nivel industrial estas condiciones teóricas ya vistas tienen limitada aplicación, ya que el líquido a filtrar tendría que ser el mismo todas las veces, y esto no sucede en la práctica. Teóricamente se pueden determinar las condiciones óptimas para filtrar un líquido en particular, pero si durante el proceso el porcentaje cambia, la distribución del tamaño de partículas no es el mismo, la presión de alimentación varía, etc., estas condiciones quedarían rebasadas totalmente.

1.5 Flujo del líquido a través de la tela

Según MENDIETA Y PICADO (2002), un trabajo experimental sobre el flujo del líquido a través de un medio poroso a bajas velocidades de flujo, ha mostrado que la velocidad de flujo es proporcional a la diferencia de presión. Siendo la resistencia de la tela más las capas iniciales de partículas depositadas de importancia, ya que estas últimas no solamente forman el verdadero medio filtrante sino que además pueden bloquear los poros de la tela incrementando así su resistencia. Las telas podrían tener que desecharse debido a tensiones mecánicas.

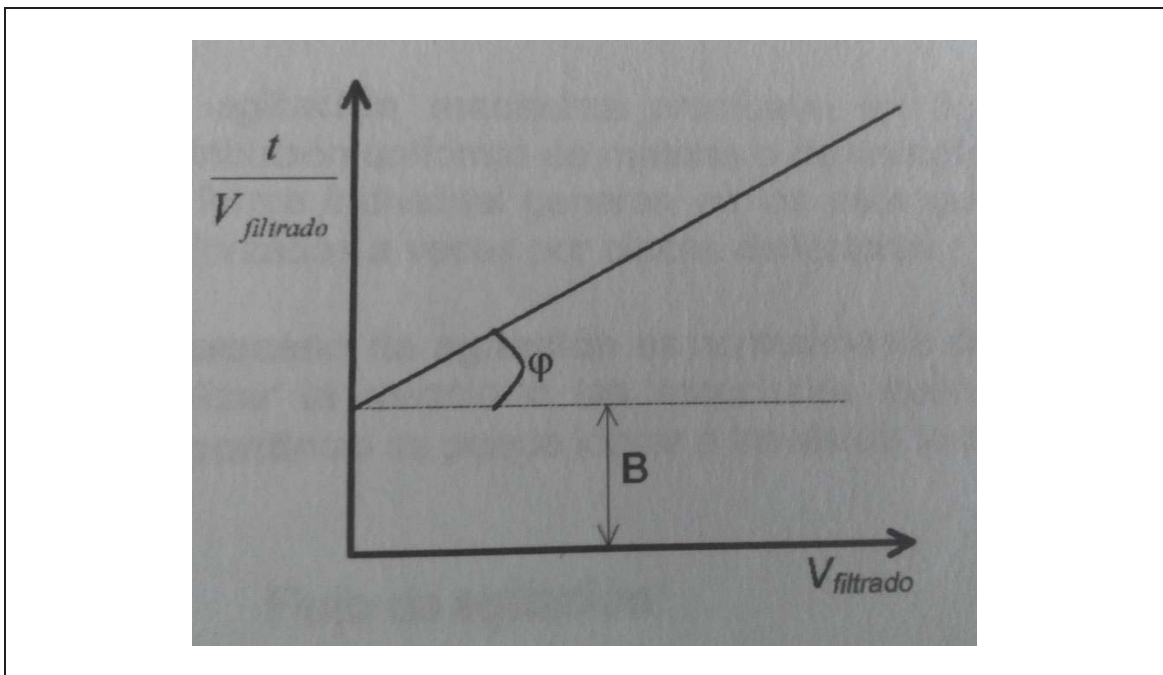


Figura 4. Mediciones experimentales para filtración de torta

FUENTE: AH-HEN (2000)

En el flujo de filtrado a través de la tela y torta combinados, sean la tela filtrante y las capas iniciales de torta equivalentes a un grosor L de torta depositadas más adelante en el proceso. Entonces si $(-\Delta P)$ es la caída de presión a través de la torta y telas combinadas, tal como se muestra en la ecuación (3) y para $V_{filtrado} = 0$ y $t = 0$, como se indica en la ecuación (4).

De acuerdo a la Figura 4, existe, por lo tanto, una relación lineal entre $(t/V_{filtrado})$ y

(V_{filtrado}), la pendiente es proporcional a la resistencia específica, como en el caso del flujo de filtrado a través de la torta de filtrado sola, pero la línea no cruza el origen.

$$\frac{1}{A_f} \cdot \frac{dV_f}{dt_f} = \frac{-\Delta P}{r\mu_f(l+L)} \quad (3)$$

$$\frac{t}{V_{\text{filtrado}}} = \left(\frac{\mu a_T a V_{\text{filtrado}}}{2A_F^2 \Delta P} \right) + \frac{\mu \beta}{A_F \Delta P} \quad (4)$$

1.6 Clarificación de la cerveza

Después del proceso de fermentación y maduración del sabor, y antes de la operación de envasado, se hace necesario clarificar y dar brillo a la cerveza, esto se debe a que al terminar la fermentación, la cerveza se encuentra muy turbia por la presencia de levadura residual (CADENA, 2008).

La cerveza pura es un líquido cristalino. Si está turbia, es porque contiene sólidos en suspensión, tales como proteínas, levaduras, bacterias o restos de malta o lúpulo, los cuales se pueden eliminar en parte por decantación durante un tiempo de reposo prolongado. Los elementos en suspensión afectan el aspecto de la cerveza, su aroma, sabor y también reducen su vida útil. Filtrar la cerveza permite reducir el tiempo de reposo, dar un aspecto claro y cristalino, preservar el aroma y sabor, aumentar el aroma y el sabor, aumentar la estabilidad y duración.²

Existe la posibilidad de que los mismos sólidos suspendidos sean un lecho filtrante, pero estos son finos, suaves y compresibles, por lo que muestran propiedades desfavorables para la formación de la torta y por esta razón se utiliza tierra de diatomeas como un coadyuvante de filtración, que por una parte, forma una capa permeable para el filtrado y, por otra, funciona como una torta de filtración (BOLIVAR,

² <http://www.lezgon.com/pdf/IB00000010/18%2020%20TECNOLOGIA%20Procesos.pdf>

2013).

Según CADENA (2008), la tierra de diatomeas es preparada como una mezcla con agua de dilución o cerveza, agitándola constantemente para que no sedimente. Esta mezcla es depositada sobre la superficie de las hojas del filtro haciéndola circular a una velocidad de flujo alta para asegurar que cubra uniformemente todas las hojas, esto es conocido como “formación de la precapa” para el filtrado.

El ayuda-filtro selecciona de acuerdo a las necesidades que se tengan, y debe tener las siguientes características: alta porosidad, capacidad de adsorción, ser incompresibles, baja superficie específica y químicamente inerte. En la práctica hay que considerar la disponibilidad del ayuda-filtro en el mercado, los resultados obtenidos de claridad en el líquido y el costo. Los filtros más usados en la industria cervecera son tierra de diatomeas y perlitas.

1.6.1 Tierra de diatomeas. También conocida como diatomita o tierra infusoria, es un tipo de formación rocosa de color pálido, suave, ligero de peso, que se utiliza como un medio de filtración. Esta tierra está formada de microfósiles de diatomeas y contienen mayoritariamente sílice.

Las diatomeas son plantas unicelulares acuáticas relacionadas con algas y se las clasifican como materiales sedimentarios de origen orgánico. Existen diatomeas en muchos entornos diferentes y son abundantes en las regiones de procedencia oceánica, entre 12.000 y 16.000 especies de diatomeas viven en agua dulce, salobre o salada; cada alga tiene internamente un esqueleto silíceo, donde el tamaño promedio oscila entre los 10 a 150 μm y se van formando por la acumulación sedimentaria hasta alcanzar un grosor suficiente para tener un potencial comercial (BOLIVAR, 2013). En Chile se localizan en la depresión intermedia de las provincias de Arica e Iquique y en el altiplano de la provincia de Parinacota³

1.6.2 Perlita. La perlita es un vidrio natural de origen volcánico que suele ser negro o gris, pero a veces rojo pardo (BOLIVAR, 2013). Es químicamente inerte pues está libre de impurezas. La perlita se calienta hasta 800°C y expande su volumen 20 veces, ya

³ <http://www.uantof.cl/salares/fichas/Kieselgur.pdf>

fría es molida y clasificada formando tortas incompresibles con un 80 a 90% de espacios huecos. En la clarificación de la cerveza, la perlita no alcanza una brillantez tan aceptable como con las diatomeas. Este tipo de material tiene una mejor resistencia a las variaciones de presión y en líquidos con alto contenido de sólidos logra una filtración más eficiente (CADENA, 2008).

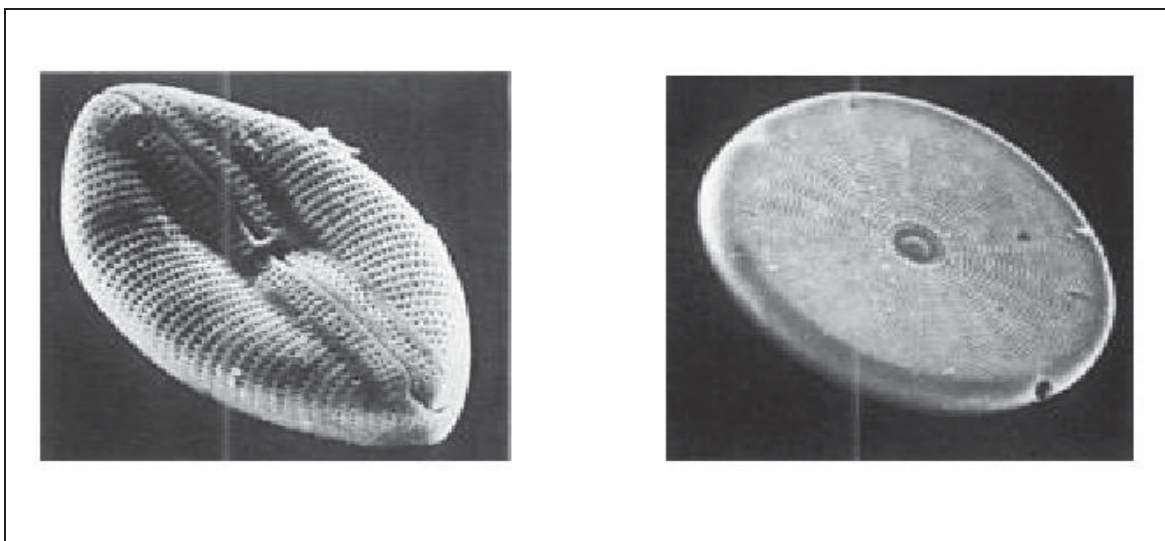


Figura 5. Diferentes tipos de diatomitas

FUENTE: CADENA, 2008

1.7 El medio filtrante

Se debe considerar que la levadura es ovalada o alargada de 6 a 8 μm (MENDIETA y PICADO, 2002), por lo que el medio filtrante debe tener un tamaño de poro capaz de retenerlas al momento de filtrar. El medio para filtraciones industriales debe tener ciertas características. La primera y más importante es que permita separar sólidos de la suspensión y producir un filtrado transparente. Además, los poros no se deben obstruir con facilidad para que la velocidad del proceso no sea demasiado lenta. El medio filtrante debe permitir la extracción de la torta sin dificultades ni pérdidas. Obviamente, debe tener una resistencia mecánica suficiente para no rasgarse y no ser afectado por los productos químicos presentes. También debe considerarse que el costo del material sea accesible.

Según MENDIETA y PICADO (2002), el medio filtrante más adecuado es el

polipropileno que presenta alta resistencia a la ruptura, buena resistencia al desgaste, excelente resistencia a los ácidos y álcalis, buena resistencia a agentes oxidantes y a los disolventes, además de presentar una temperatura operacional bastante elevada.

1.8 El filtro prensa

Un filtro prensa contiene un conjunto de placas diseñadas para proporcionar una serie de cámaras en los que se pueden recoger los sólidos. Las placas se recubren de un medio filtrante. La suspensión se introduce en cada compartimento bajo presión; el líquido sale a través de la lona o celulosa y sale a través de una tubería de descarga, dejando atrás la torta húmeda. Lo más frecuente es que los compartimentos para sólidos estén formados por huecos en las caras de placas de polipropileno. Una vez instalado el filtro prensa, se introduce la suspensión por medio de una bomba generalmente a una presión de 3 a 10 atm, la filtración continua hasta que ya no salga líquido por el tubo de descarga o bien aumente bruscamente la presión, esto último ocurre cuando las placas se llenan de sólidos por lo que se debe detener el proceso (MCCABE *et al.*, 2002)

Objetivo general

Diseñar un filtro que permita reducir el contenido de sólidos en suspensión (levaduras) de la cerveza artesanal, mejorando la apariencia y la vida útil del producto.

Objetivos específicos

Determinar las propiedades físicas promedio de la cerveza artesanal, tales como densidad, contenido de sólidos (levaduras) y viscosidad.

Determinar los tipos de materiales a utilizar para el filtro y sus costos.

Realizar la cotización del filtro en Valdivia.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Ubicación de la etapa experimental

El estudio se realizó en el laboratorio de biotecnología ubicado en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL), de la Universidad Austral de Chile.

2.2 Obtención de la cerveza

La cerveza que se utilizó fue del tipo “Amber Red Ale” donada por Américo Tralma, quien es el productor de la cerveza denominada “Cumbres del Ranco” y elaborada en la provincia del Ranco, en la Región de Los Ríos.

Para realizar los siguientes análisis en que se requiera filtración se utilizará una malla de polipropileno con un tamaño del poro de 5 μm y espesor de 0,2 mm.

2.3 Análisis

Los análisis que se realizarán a la cerveza artesanal corresponden al porcentaje de sólidos, a la densidad, viscosidad y a la determinación de la resistencia de la torta y del medio filtrante. Cada uno se detalla a continuación.

2.3.1 Porcentaje de sólidos. El porcentaje de sólidos presentes en la cerveza se determinó filtrando 50 mL del producto y se midió el volumen luego de realizar la filtración. El equipo de filtración consiste en una bomba de vacío Oster, la cual se conectó a través de una manguera con un Kitasato provisto de un embudo Büchner, como se observa en la Figura 6.

$$P_s = \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) \times 100 \quad (5)$$

El porcentaje de sólidos se calculó con la ecuación (5), donde V_1 es el volumen inicial

de la cerveza y V_2 es la cerveza después de filtrar.

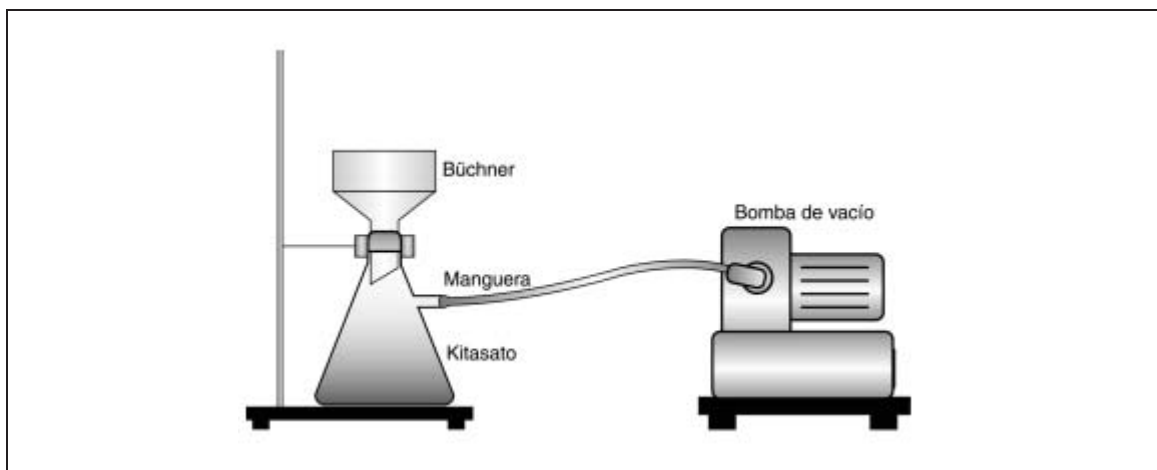


Figura 6. Equipo de filtración

FUENTE: MENDIETA y PICADO (2002)

2.3.2 Densidad de la cerveza. Se determinó la densidad de la cerveza midiendo su masa y volumen. La densidad de una sustancia homogénea es una propiedad física que se caracteriza y es definida como el cociente entre la masa y el volumen de la sustancia que se trate. Esta propiedad depende de la temperatura, por lo que al medir la densidad de una sustancia se debe considerar la temperatura de medición (PATIÑO, 2010).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (6)$$

Se pesó en una balanza 10 mL de cerveza extraídos con una pipeta, registrando el peso obtenido de ésta.

2.3.3 Viscosidad de la cerveza. Viscosidad, es la resistencia de un líquido a fluir. Será determinada con el viscosímetro de Ostwald, el cual nos permite medir la viscosidad relativa de un líquido, midiendo el tiempo de escurrimiento. Este instrumento consiste en un tubo de vidrio en forma de U con una parte capilar y dos partes esféricas.

Con una pipeta introducir la cerveza en la ampolla “A” según el volumen que indica el

proveedor. Se insufla aire con el balón de goma de modo que el líquido llene el volumen "V" quedando un poco más arriba del engrase "a". Se deja escurrir el líquido poniendo en marcha cronómetro en el momento en que la superficie del líquido pasa por "a" y se detiene en el momento en que pasa por "b". Tal como se indica en la Figura 7.

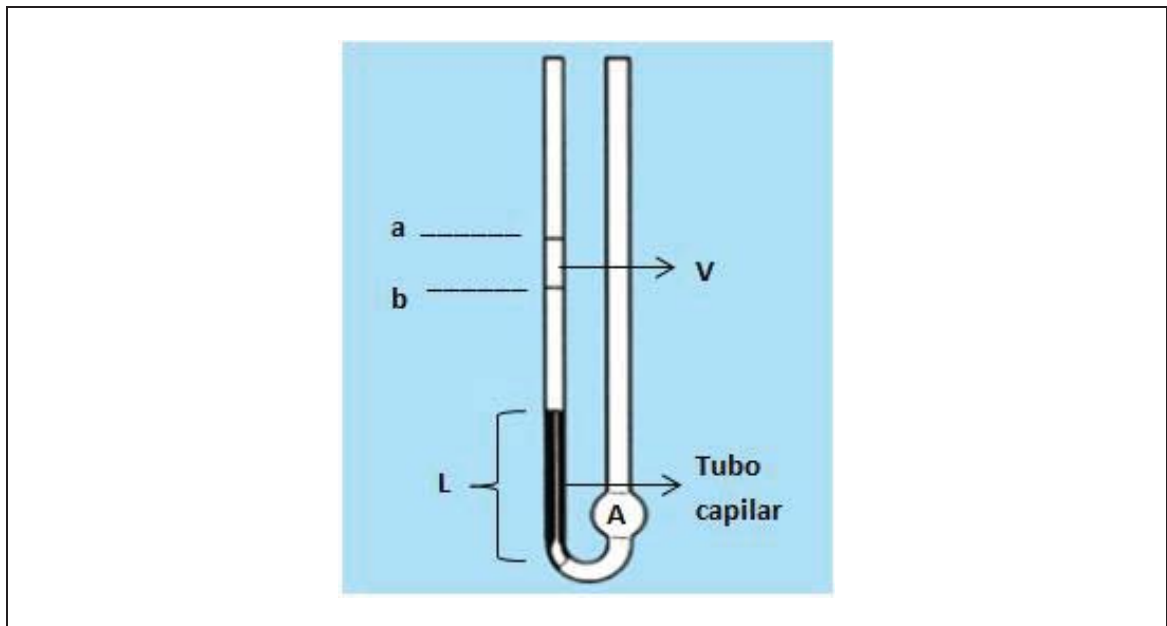


Figura 7. Viscosímetro de Ostwald

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE <http://www.si-analytics.com/> (s/f)

La fórmula para determinar viscosidad es:

$$v = k * t_p \quad (7)$$

Donde v es la viscosidad cinemática (m^2/s), k es la constante del viscosímetro (m^2/s^2), y t_p es el tiempo de paso medido (s). La conversión de viscosidad cinemática a dinámica se determinó con la ecuación (8).

$$\mu = v * \rho \quad (8)$$

Donde μ es la viscosidad dinámica ($Pa*s$) y ρ es la densidad medida a $20^\circ C$ (kg/m^3).

2.3.4 Determinación de la resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante.

Mediante el equipo de filtración representado en la figura 6, se determinará la variación de tiempo (t) frente a un volumen de filtrado de 50, 100, 150 y 200 mL.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Resultados de los análisis de laboratorio

Se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de Biotecnología y detallados en el capítulo anterior.

3.1.1 Porcentaje de sólidos. Utilizando la ecuación (5) se determinó que el porcentaje promedio de sólidos contenidos en la cerveza medido en un total de 6 repeticiones a través de filtración, fue de 2,08% con una desviación estándar de 0,55; como se puede ver en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores obtenidos en la determinación del porcentaje de sólidos mediante filtración

Volumen inicial (V_1) mL	Volumen final (V_2) mL	Porcentaje de sólidos (P_s) (%)
100	97	3,0
100	98	2,0
100	98	2,0
100	99	1,0
100	97,5	2,5
100	98	2,0
Promedio		2,08
Desviación estándar		0,55

Es importante señalar que previo a la filtración, a simple vista la cerveza no contenía un gran volumen de sedimentos en el envase, ya que gran parte de los sólidos fueron eliminados en las etapas previas de fermentación y maduración en estanques con fondo cónico por un tiempo prolongado. Pese a esto, según CADENA (2008), dependiendo del tipo de cerveza, las hay con 0,1%, las más comerciales entre 1 – 3%,

por lo que la cerveza analizada se encuentra dentro de lo aceptable.

3.1.2 Densidad de la cerveza. La densidad se determinó de un total de 4 muestras, donde se obtuvo que el promedio de la densidad de la cerveza es de $0,993 \pm 0,001$, tal como se observa en Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores obtenidos en la determinación de la densidad de la cerveza

Volumen (mL)	Peso (g)	Densidad (g/mL)
10	9,95	0,995
10	9,93	0,993
10	9,95	0,995
10	9,92	0,992
Promedio (g/mL)		0,993
Desviación estándar		0,001

3.1.3 Viscosidad de la cerveza. El viscosímetro de Ostwald tipo 509 07, utilizado en esta etapa tiene un capilar de diámetro 0,7 mm, y la distancia entre los meniscos “a” y “b” es de 2 cm. Los resultados obtenidos al medir la viscosidad se presentan en el Cuadro 3, donde se muestra el promedio de $1,66E-3$ Pa*s con una desviación estándar de $6,08E-5$

Cuadro 3. Valores obtenidos en la determinación de la viscosidad de la cerveza

Distancia (m)	Tiempo (s)	Viscosidad cinemática (m^2/s)	Viscosidad (Pa*s)
0,02	16,99	1,699E-6	1,69E-3
0,02	16,01	1,601E-6	1,59E-3
0,02	17,07	1,707E-6	1,70E-3
Promedio (Pa*s)			1,66E-3
Desviación estándar			6,08E-5

3.1.4 Determinación de la resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante.

Los datos obtenidos en este análisis y la obtención de los valores “x” e “y” se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valores obtenidos para el cálculo de resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante

Volumen inicial (V_1) mL	Volumen final (V_2) mL	Tiempo (t) s	ΔV mL	X (V_1)	Y (dt/dV)
50	42	15,04	8	50	1,880
100	91	23,50	9	100	2,611
150	138	40,56	12	150	3,120
200	187	53,81	13	200	3,843

Con los valores obtenidos se realiza una regresión lineal donde la pendiente y el intercepto son despejados para obtener la resistencia específica de la torta y del medio filtrante respectivamente. Tal como se observa en la Figura 8.

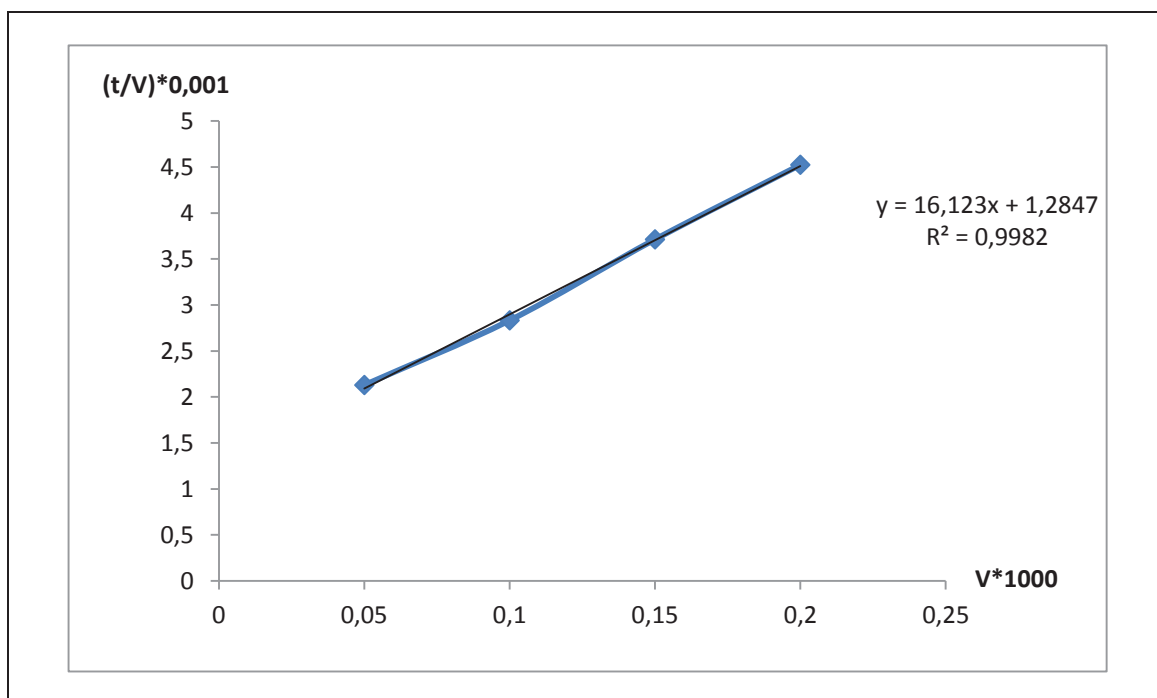


Figura 8. Regresión lineal obtenida

Como se observa en el Cuadro 5, el medio filtrante y la torta no ofrecen mayor resistencia, incluso la resistencia de ésta última es casi despreciable. Los resultados obtenidos pudieron haber sido afectados debido a la poca cantidad de cerveza que se filtró y al método utilizado, ya que lo ideal de éste experimento es realizarlo en un filtro piloto, en este caso, un filtro de placas y con un mayor volumen de cerveza. Pese a esto, los resultados son confiables para hacer una estimación de lo que será el filtro a diseñar.

Cuadro 5. Valores resultantes de la regresión lineal en la obtención de la resistencia de la torta y del medio filtrante

Intercepto	Pendiente	Ecuación de la recta	Resistencia del medio filtrante	Resistencia de la torta
1,2827	16,123	$y=16,123x + 1,2847$	78,259	1,97E-3

Cabe mencionar que los datos obtenidos en experimentos de filtración suelen ser poco reproducibles debido a que el estado de aglomeración de las partículas en la cerveza puede variar y afectar la resistencia específica de la torta, sin embargo, la realización de este experimento es fundamental para caracterizar de forma aproximada el comportamiento de la cerveza al momento de la filtración, obteniendo así un punto de referencia que nos permite la determinación de ciertos parámetros utilizados en el diseño del filtro requerido.

3.2 Resultados del diseño del filtro

Posterior a los análisis realizados a la cerveza, se procedió a estimar las características que debe tener el filtro prensa, así como de la bomba que transportará el fluido. Los datos entregados antes de realizar el presente documento fueron que las placas debían ser de 20x20 cm y que el filtro debía ser capaz de procesar al menos 500 litros diarios de cerveza. Como no se cuenta con un filtro en los que se pueda medir la diferencia de presión que se produce al filtrar cerveza, se considerarán 300 kPa, valor de ΔP medido en la tesis de MENDIETA y PICADO (2002). Valores similares se encuentran en la tesis de DE LA HOZ Y AGRAMEZ (2015). El número de placas se calcula mediante la ecuación (9) y en el Anexo 1 se muestra la

resolución de la ecuación, donde se establece que el filtro prensa debe poseer 21 placas de 20x20 cm.

$$\text{número de placas} = \frac{\text{Volumen torta húmeda}}{\text{Volumen de una placa}} \quad (9)$$

3.2.1 Potencia de la bomba utilizada. Tal como se muestra en el Anexo 2, donde se muestran los cálculos realizados, la potencia de la bomba para impulsar la cerveza debe ser de aproximadamente 0,084 kW.

3.2.2 Estimación resistencia de la torta y resistencia del medio filtrante en el filtro. Con los datos ya obtenidos del diseño del filtro, se estima los valores α' y R'_m , para ello se utilizan los valores obtenidos en el laboratorio (Cuadro 6). En el Anexo 3, se observan las ecuaciones (17) y (18), utilizadas por DE LA HOZ y MARTINEZ, (2015). Los resultados pueden verse en el Cuadro 8.

3.3 Cotización de materiales

En el costo final del filtro incluye el precio de todos los materiales que permitirán su funcionamiento, tales como el medio filtrante, la bomba, las placas y los accesorios. La información detallada se muestra en los subtítulos siguientes.

3.3.1 Medio filtrante. Los criterios utilizados para la selección del proveedor del medio filtrante se muestran en el Cuadro 6, donde se pondera la importancia de cada uno.

De acuerdo al Cuadro 6, el mejor proveedor es industria “x”, ubicada en Curicó, la cual provee hoja de filtración de celulosa para alimentos y aplicaciones industriales.

La cantidad de envío mínimo es de 25 unidades de medio filtrante, cada uno por 0,5 dólares (12,5 dólares en total). El envío se realiza mediante Chilexpress, TurBus o Pullman Cargo, en el Anexo 8 se presentan los valores de envío aproximado, en base a esto, se elige el envío mediante Pullman Cargo debido a su menor valor. La hoja filtrante más adecuada para el uso requerido es AF30 de 12 - 0,5 micrómetros de tamaño del poro. La duración del producto es de 36 meses, una vez utilizado debe ser desechado.

Cuadro 6. Selección del mejor proveedor de medio filtrante

Criterio	Ponderación	Proveedor "x"	Puntaje proveedor 1	Proveedor "y"	Puntaje proveedor 2
Lugar de venta	0,15	4	0,60	1	0,15
Precio	0,20	4	0,80	5	1,00
Material	0,15	4	0,60	4	0,60
Cantidad de envío mínimo	0,05	5	0,25	5	0,25
Tamaño del poro	0,25	5	1,25	5	1,25
Rapidez en contestar mensajes	0,10	5	0,50	2	0,20
Duración del producto	0,10	1	0,10	1	0,10
Suma	1,0		4,1		3,55

Los dos proveedores evaluados fueron los únicos que respondieron el correo electrónico que se les envió, sin embargo, "y" es una tienda online de España que provee insumos a pequeños y medianos productores, por lo que no es conveniente debido al tiempo de espera y al costo de envío, además tardaban en contestar los correos enviados, a diferencia de "x", quienes respondían y se notaba su interés en vender el producto.

3.3.2 Bomba. La bomba se cotizó en la ferretería "F" ubicada en Valdivia y tiene un valor de \$386.750, I.V.A. incluido. En el Anexo 10 se encuentra la cotización enviada por el Sr. Francisco Benavides.

3.3.3 Placas. Junto con el diseño de la placa que se observa en el Anexo 6, se realizó la cotización en una empresa codificada como "P", encargada de la importación, exportación y comercialización de artículos plásticos. El valor total de las 21 placas es de \$1.092.075, I.V.A. incluido. Se adjunta cotización en Anexo 9. La cotización también se realizó en una maestranza ubicada en Valdivia "V", debido a un costo más bajo, por realizarse dentro de la misma ciudad y porque incluye la manufactura del filtro prensa final, se elige ésta última como proveedora de las placas.

El material de las placas es de polietileno de ultra alto peso molecular que posee

excelente resistencia a la abrasión y al desgaste, bajo coeficiente de fricción, no absorbe humedad, gran resistencia a la corrosión, elevada resistencia al impacto; y las áreas de aplicación es destinada a las industria química, industria minera, industria de alimentos, industria de envasado y embotellación⁴

3.4 Resumen del diseño del filtro

En el Cuadro 7 se muestra el resumen de los principales parámetros de filtro a realizar

Cuadro 7. Características técnicas del filtro

Parámetro	Unidad	Magnitud
Área de filtración	m ²	0,84
Número de marcos	--	21
Flujo de alimentación	m ³ /s	2,2x10 ⁻⁴
Cantidad de levadura separada	Kg	16,52
Diferencia de presión	kPa	300
Resistencia medio filtrante	m ⁻¹	2,28x10 ⁸
Resistencia torta	m/kg	4,1x10 ⁶

El diseño final del filtro puede verse en Anexo 7, realizado por Juan Carlos Sepúlveda, mecánico industrial y dibujado por Patricio Fuentes, ingeniero en mantención industrial. Según CHILE, MINISTERIO DE SALUD (MINSAL) (2005), el material utilizado en la construcción del filtro debe ser acero inoxidable, correspondiendo a la calidad AISI (*American Iron and Steel Institute*); indicado para la industria alimentaria por su menor contenido de carbono. El acero AISI 304, también denominado 18-8 por su composición en cromo y níquel en proporciones 18% y 8% respectivamente, resiste adecuadamente la acción de numerosos agentes corrosivos. Es muy utilizado en la fabricación de equipamiento para la industria química, farmacéutica, alimenticia, etc. En general, el acero inoxidable es un material con alta resistencia a la corrosión, alta resistencia a temperaturas tanto criogénicas como elevadas, fácil de limpiar-higienizar, bajo coste de mantenimiento, buenas propiedades de soldabilidad, corte, doblado.

⁴ http://www.plasticentro.cl/productos/pe_uhmw.html

(CARBONERAS, 2004)

3.5 Gasto total para la manufactura del filtro prensa

En el Cuadro 8, se ordena el total de costos para la adquisición de los productos que se utilizarán en la realización del filtro.

Cuadro 8. Costo total en la manufactura final del filtro

Producto	Valor
Compra medio filtrante	8.269*
Compra bomba	386.750
Manufactura filtro	4.916.331
Envío total de los productos	6.250
Accesorios (Ruedas, llaves de paso, manómetro)	69.750
Valor total	5.387.350

*Cálculo realizado con el valor del dólar al 30 de junio del 2016.

Los accesorios para la construcción final del filtro contemplan dos llaves de paso, un manómetro y cuatro ruedas, los dos últimos elementos son cotizados en distintos lugares de Valdivia.

4. CONCLUSIONES

Se determinaron las propiedades físicas promedio de un tipo de cerveza artesanal para conocer las características básicas de ésta, diseñando a partir de estos resultados un filtro de 21 placas de 20x20 cm.

Las características físicas sólo se determinaron a un tipo de cerveza y el filtro se diseñó a partir de los resultados obtenidos, por lo que algunos valores pueden variar de un tipo del brebaje a otro.

El filtro de placas final está diseñado con materiales inertes, acero inoxidable y polietileno, por lo que su uso es recomendado para alimentos. Debido a su tamaño regular y a las ruedas que posee, el equipo puede ser transportado fácilmente, por lo que se puede utilizar en diversos lugares de trabajo.

Todos los accesorios que componen el filtro son recomendados para alimentos

El costo final para la manufactura del filtro prensa diseñado es de \$5.387.350, donde se incluyen los accesorios, la compra de la bomba y del medio filtrante y el envío de este último.

5. RECOMENDACIONES

El equipo no se debe operar en condiciones de proceso que excedan las especificaciones y condiciones de diseño.

Para el buen funcionamiento del equipo y evitar daños se recomienda evitar su manipulación sin la debida autorización de la persona a cargo.

Si se va a trabajar con una suspensión distinta a la cerveza, se debe lavar cuidadosamente el filtro para evitar una posible contaminación. Si la sustancia es otro producto alimenticio se debe desmontar el filtro prensa, lavar y esterilizar.

Al momento de utilizar el filtro, se debe colocar de manera correcta cada una de las placas del filtro, con los respectivos medios filtrantes, teniendo en cuenta que la parte corrugada del medio filtrante va en la parte de la placa donde ingresa la suspensión.

Las placas del equipo deben ser lavadas cada vez que sea utilizado, porque tienen orificios en los que se podría acumular restos de la torta.

De acuerdo a condiciones del proveedor del medio filtrante, éstos pueden ser esterilizados con agua a 85°C.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AH-HEN, K. 2000. Guía de curso ITCL 233, ingeniería de procesos II. Universidad Austral de Chile.
- BOLIVAR, E. 2013. Mejoramiento de la estabilidad del sabor de la cerveza mediante el control de migración de metales (Cu, Cr, Fe, Mn) en la filtración por tierra de diatomeas. Tesis Ingeniero químico. Caracas. Univ. Central de Venezuela. 111 p.
- CADENA, A. 2008. Selección de un filtro para clarificar y abrillantar cerveza, a partir del comparativo entre un filtro de placas verticales y un filtro de candelas. Tesis Ingeniero químico industrial. México D.F. Instituto Politécnico Profesional. 106 p.
- CARBONERAS, M. 2004. Evaluación de la influencia de la adición de cobre y estaño en la resistencia a la corrosión de aceros inoxidable austeníticos. Tesis Dr. Cien. Met. Madrid. Univ. Complutense de Madrid, Fac. Cien. Quím. 305 p.
- CHILE, MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, SERVICIO DE ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN. 2005. Norma técnica. 173 p.
- CHILE, MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO (SERNATUR). 2014. Guía de cervezas artesanales, región de Los Ríos. 20 p.
- CORTÉS, R; VILLANUEVA, J; PONCE, E; ROJAS, M y ROJAS, E. 2004. Estudio de la soldabilidad y corrosión del acero inoxidable AISI 904L con los agentes utilizados en la lixiviación del cobre. Revista Facultad de Ingeniería (Chile) 12 (2): 43-56
- DE LA HOZ, I y MARTINEZ, A. 2015. Diseño y montaje a escala piloto de un sistema de filtración con filtro prensa para los laboratorios de operaciones unitarias de la universidad de san buenaventura sede Cartagena. Tesis Ing. químico. Cartagena. Univ. de San Buenaventura de Cartagena. 107 p.
- ESPAÑA, INSTITUTO TECNOLÓGICO AGROALIMENTARIO. s.f. Mejores técnicas disponibles en el sector cervecero. 319 p.

- ETCHEBERRIGARAY, M. 2007. Diseño de banco de pruebas para placas de filtración de polietileno de ultra alto peso molecular. Tesis Ing. civil mecánico. Univ. De Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 140 p.
- FLORES, J y VILLEGAS, M. 1995. Filtración. Univ. Autónoma Metropolitana, Área de Ingeniería Química. Azcapotzalco, México. 28 p.
- HOUGH, J. 1990. Biotecnología de la cerveza y de la malta. Zaragoza. Editorial Acribia S.A. 126 p.
- IBARZ, A y BARBOSA-CÁNOVAS, G. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Madrid. Editorial Multi-prensa. 865 p.
- MCCABE, W; SMITH, J y HARRIOT, P. 2002. Operaciones unitarias en ingeniería química. VI ed. México D.F. Edit. McGraw Hill. 1199 p.
- MENDIETA, R y PICADO, A. 2002. Diseño tecnológico de un sistema separador-secador para su utilización en la recuperación de la cerveza residual y posterior secado de la levadura sobrante. Tesis ing. quím. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería. 117p.
- PATIÑO, M. 2010. Química básica: prácticas de laboratorio. 187 p.
- PRIMO, E. 1997. Química de los alimentos. Madrid. 125 p.
- RODRIGUEZ, H. 2003. Determinación de parámetros físico-químicos para la caracterización de cerveza tipo *lager* elaborada por compañía cervecera Kuntsmann S.A. Tesis Ing. en alimentos, Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 88 p.
- ROS, J. 1980. Estabilidad coloidal de la cerveza. Laboratorio industrial de bioquímica S.A. Pamplona, España. 83 p.
- SIEBERT, K. 1999. Effect of protein-polyphenol interactions on beverages haze, stabilisation and analysis. Journal Agricultural Food Chemistry. 47(2): 353-362
- SUAREZ, M. 2013. Cerveza: componentes y propiedades. Tesis Mag. Biotec. Alim. Oviedo, España, Universidad de Oviedo. 88 p.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo para la estimación del número de placas

Se tiene un volumen de cerveza sin filtrar de $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$, según los análisis realizados en el laboratorio tiene un 2,08% de sólidos de levadura. Además el volumen de los marcos utilizados es de $8 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Utilizando la ecuación (9) se obtiene:

$$n^{\circ} \text{ placas} = \frac{0,01664 \text{ m}^3}{8 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$n^{\circ} \text{ placas} = 20,8$$

Anexo 2. Cálculos para la estimación de la potencia de la bomba

Se considera un caudal volumétrico de 800 L/h de cerveza, lo que es igual a $2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

Cálculo de velocidad. Para el transporte del flujo cervecero se utilizará una manguera de policloruro de vinilo (P.V.C.) de diámetro interior de 19 mm .

$$v = \frac{Q}{\pi r^2} \quad (10)$$

$$v = \frac{2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (9,5 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$v = 0,776 \text{ m/s}$$

Determinación de las pérdidas por fricción.

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} \quad (11)$$

$$Re = \frac{0,776 \text{ m/s} * 0,019 * 993 \text{ kg/m}^3}{1,66 \times 10^{-3} \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$Re = 8819,75$$

Mediante el número de Reynolds podemos concluir que la cerveza tiene un flujo turbulento, ya que $Re > 2000$.

Para un flujo turbulento, el factor de fricción se determina mediante el diagrama de Moody, por lo cual debemos conocer la rugosidad relativa

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\epsilon}{D} \quad (12)$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0,0015\text{mm}}{19\text{mm}}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = 7,895 \times 10^{-5}$$

Por lo tanto, el factor de fricción (f) es igual a 0,0085 de acuerdo al diagrama de Moody

Las pérdidas por fricción se calculan con la ecuación (12)

$$h_f = \frac{f * L * v^2}{2 * g * D} \quad (13)$$

$$h_f = \frac{0,0085 * 0,7\text{m} * (0,776)^2}{2 * 9,8 \text{m/s}^2 * 0,019\text{m}}$$

$$h_f = 9,62 \times 10^{-3} \text{m}$$

Potencia de la bomba. Para la medición de éste valor se tiene:

$$\Delta P = 300000 \text{ Pa}$$

$$\Delta z = 0,7 \text{ m (diferencia de altura entre la bomba y la altura del filtro)}$$

Con estos datos se calcula la carga de la bomba:

$$H_B = \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + h_f \quad (14)$$

$$H_b = \frac{300000 \text{ Pa}}{993 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,7\text{m} + 9,62 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$H_B = 31,537 \text{ m}$$

La potencia de la bomba se calcula mediante la ecuación (14)

$$P_f = \rho * g * Q * H_B \quad (15)$$

$$P_f = 993 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} * 31,537 \text{m}$$

$$P_f = 67,13 \text{ W}$$

La potencia que el motor debe comunicar a la bomba se calcula mediante la ecuación (15), donde la eficiencia global de la bomba es igual a 80%

$$P_B = \frac{P_f}{\eta} \quad (16)$$

$$P_B = \frac{51,246 \text{ W}}{0,8}$$

$$P_B = 83,91 \text{ W}$$

Anexo 3. Determinación de α' y R'_m para el filtro prensa.

$$\alpha' = \frac{\alpha * A_f^2 * \Delta P_f}{A_L^2 * \Delta P_L} \quad (17)$$

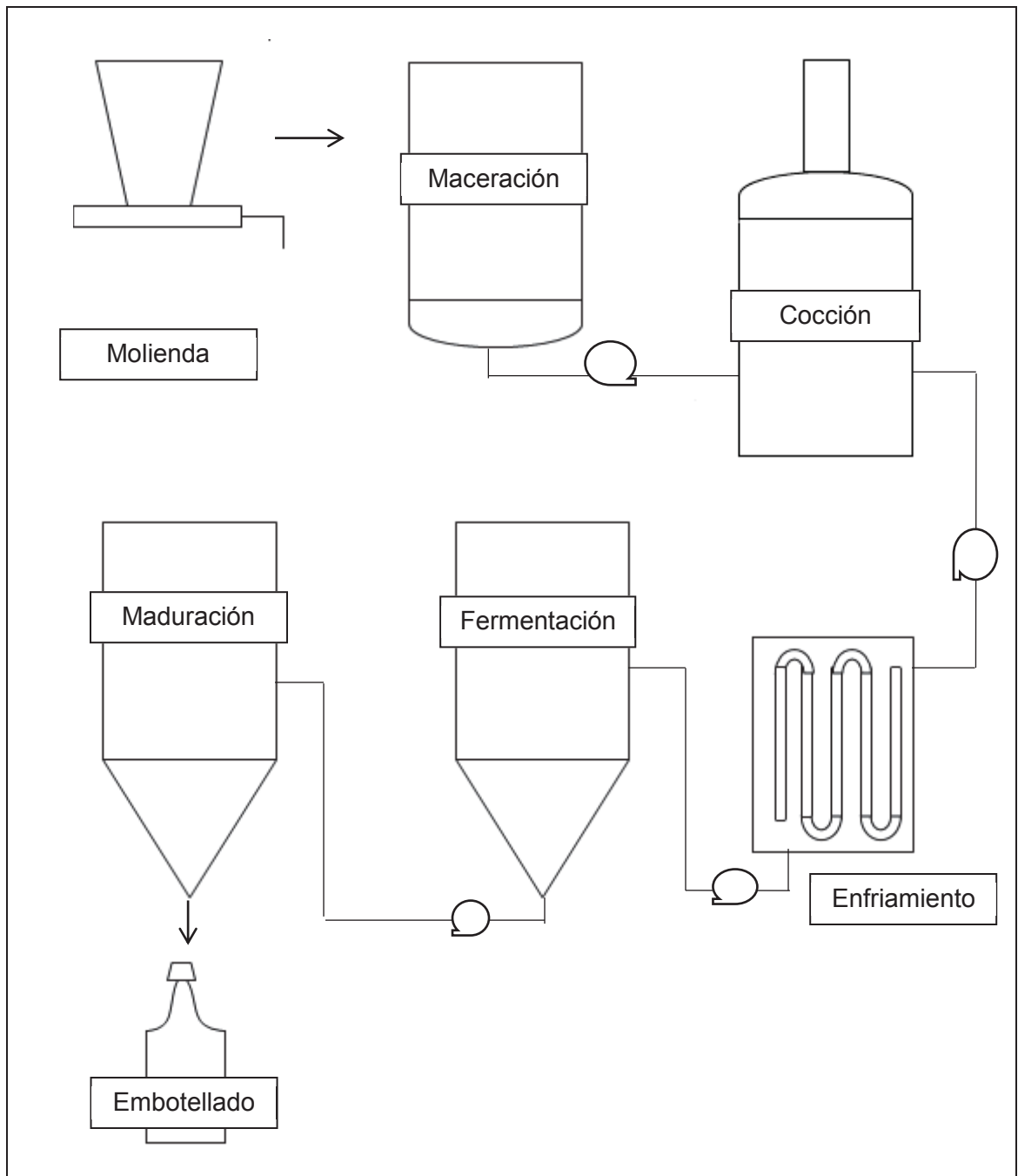
$$\alpha' = \frac{1,97 \times 10^{-3} \text{ m/kg} * (0,84 \text{ m}^2)^2 * 300000 \text{ Pa}}{(1,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2)^2 * 74,661 \text{ Pa}}$$

$$\alpha' = 4,151 \times 10^6 \text{ m/kg}$$

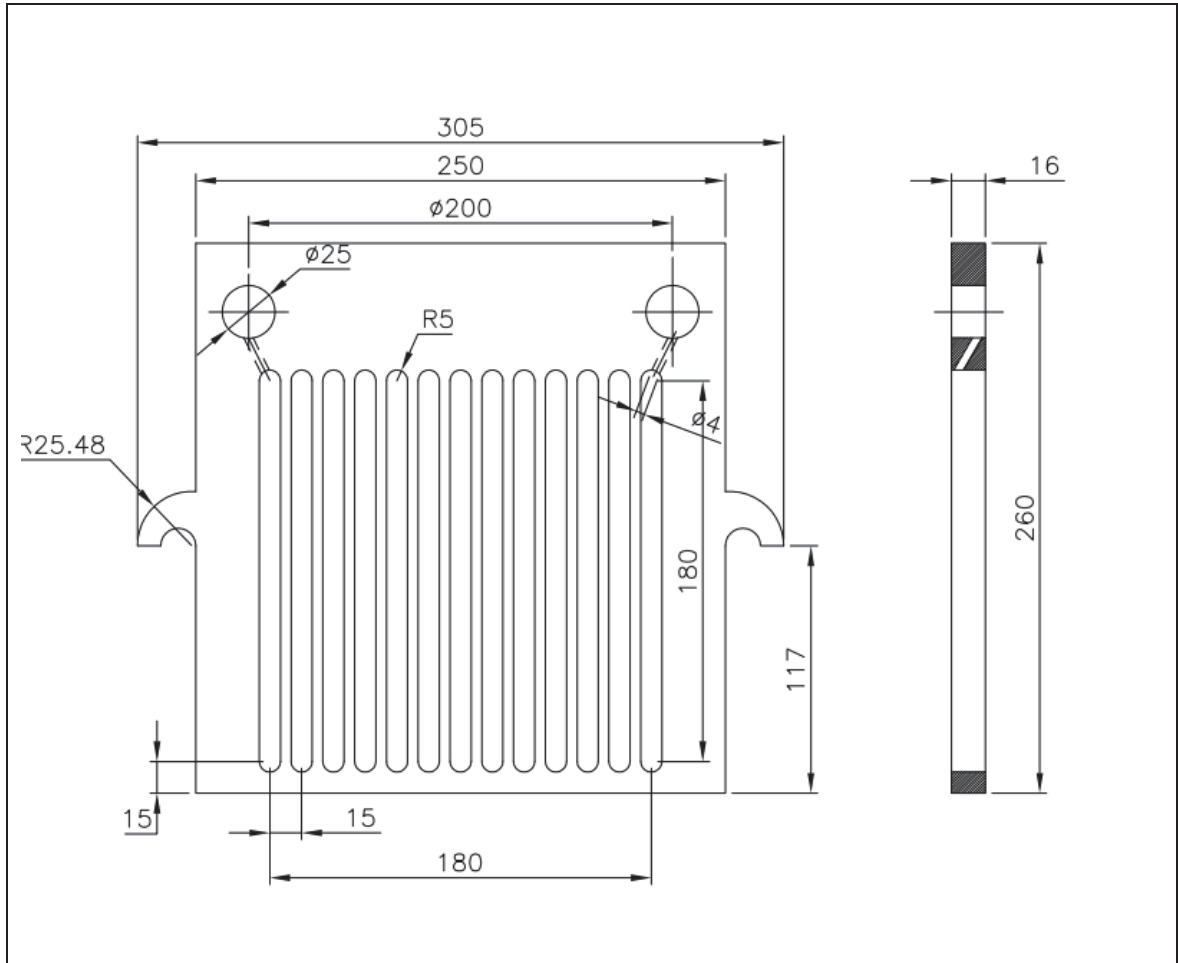
$$R'_m = \frac{R_m * A_f * 300000 \text{ Pa}}{A_L * 74,661 \text{ Pa}} \quad (18)$$

$$R'_m = \frac{78,258 \text{ m}^{-1} * 0,84 \text{ m}^2 * 300000 \text{ Pa}}{1,16 \times 10^{-3} \text{ m}^3 * 74,661 \text{ Pa}}$$

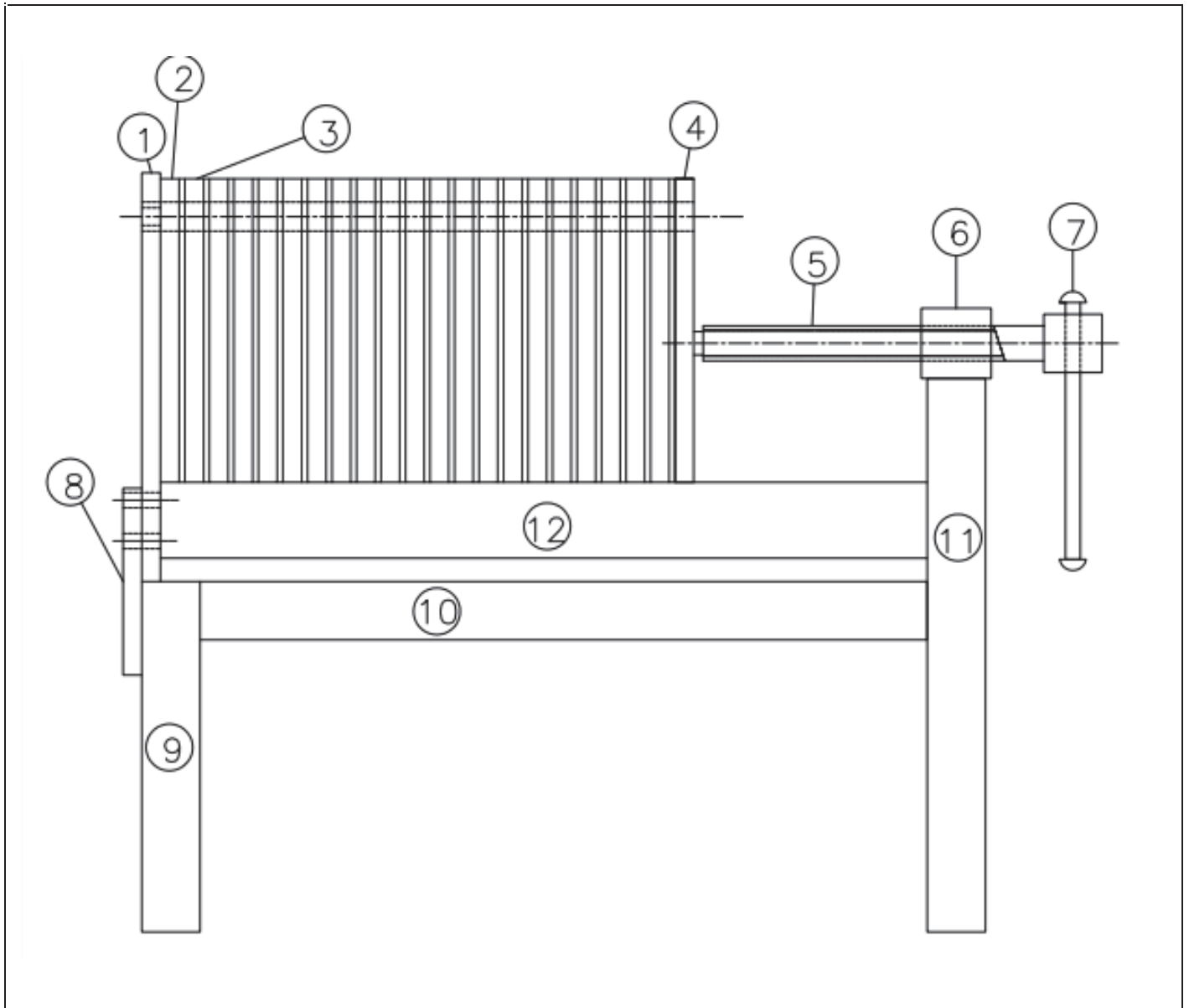
$$R'_m = 2,28 \times 10^8 \text{ m}^{-1}$$

Anexo 4. Elaboración cerveza artesanal

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE SUAREZ (2013)

Anexo 5. Diseño de las placas.

Anexo 6. Diseño filtro prensa



Anexo 7. Partes del filtro prensa detalladas en el diseño

Número	Descripción
1	Placa de succión y recepción
2	Placa distribuidora izquierda
3	Placa distribuidora derecha
4	Placa de prensado
5	Husillo prensador
6	Tuerca soporte de husillo
7	Barrote de torque
8	Placa de fijación y anclaje
9	Barra soporte estructura
10	Perfil central estructura
11	Perfil soporte tuerca husillo
12	Bandeja de recepción goteo

Anexo 8. Cotización gastos de envío medio filtrante.

Cotizador Web.

Ingrese los campos solicitados:

Origen : CURICO
Destino : VALDIVIA
Lugar de entrega : OFICINA
Servicio : CARGA GENERAL
Peso : 2 Kg.

Datos de volumen
Alto : 75 Cm.
Ancho : 30 Cm.
Largo : 30 Cm.
TOTAL : 0.0674999999999999 M3

* Valores referenciales pueden cambiar sin previo aviso
* Toda la carga se tarifa por peso y por volumen, se cobra el valor más alto entre las dos tarifas.
* Carga volumétrica se convierte a la siguiente razón (1 mt3 = 250kg)
* Valores con IVA incluido

Valor:
Total a pagar : **\$6.250**

Cotización

Dimensión de la carga

Largo : 30 cm.
Ancho: 30 cm.
Alto: 75 cm.

Datos Envío

Origen: CURICO
Destino: VALDIVIA
Tipo servicio: NORMAL
Peso: 2 Kg.

Resultado

Valor a pagar \$ 7.130
(*) Todos los campos son obligatorios

cotiza tu envío


Producto	Origen	Destino
ENCOMIENDA	CURICO	VALDIVIA

Peso	Largo	Alto	Ancho
2	30	75	30

Plazos de Entrega

Mañana, hasta las 11:00 hrs. \$18.345 OVERNIGHT
Mañana, entre 11:00 y 18:30 hrs. \$12.230 DIA HABIL SIGUIENTE
Sabado 21, entre 8:30 y 18:30 hrs. \$18.345 ENTREGA DIA SABADO

Anexo 9. Cotización placas en empresa "P"

		R.U.T.: 76.163.793-2 COTIZACION 12102-140616		
		SUCURSAL SANTIAGO Fray Camilo Henríquez #957 Tel. (56-2) 2222 1000.	SUCURSAL ANTOFAGASTA Pedro Aguirre Cerda #7190 Tel. (56-55) 247 7024.	SUCURSAL VIÑA DEL MAR Avda. Valparaíso #1201 Tel. (56-32) 268 1969.



NOMBRE: CARLA CÁRDENAS RUT: 18.132.752-9 TELÉFONO: +56967614411 ATENCIÓN: CARLA CÁRDENAS FORMA DE PAGO: CONDICIONES DE ENTREGA: Despacho	DIRECCIÓN: COMUNA: VALDIVIA CIUDAD: VALDIVIA FECHA COTIZACIÓN: 14/06/16 ATENDIDO POR: Alvaro Campos
---	--

VALIDEZ COTIZACIÓN: 15 días desde la fecha de emisión OBSERVACIONES: ENTREGA 10-12 DÍAS, FAVOR CONFIRMAR PARA PREPARAR PEDIDO. VALIDEZ OFERTA 5 DÍAS, SALVO VENTA.

Cod.	Detalle	Precio	Cant.	U. Medida	Valor	Desc.	Total
MUHPL0020	PLACAS PARA FILTRO EN UHMW SANITARIO BLANCO, SEGÚN PLANO.	\$42,500.00	21.00	UN	\$892,500	0.00 %	\$892,500

SUBTOTAL	\$ 892,500
I.V.A (19%)	\$ 169,575
TOTAL	\$1,062,075

Anexo 11. Cotización filtro

PRESUPUESTO		27652		
 REPARACION DE MAQUINARIA AGROPECUARIA Y FORESTAL JUAN MORALES RAMIREZ RUT :6.351.143-9 AV.BALMACEDA 6767 (Sector Chumpullo) FON0:225588 FAX: 224520 • CASILLA 1424				
Señor(es)	Carla Cárdenas Morales	Rut:	0	
Dirección	0	Fono :	0	
Solicitante	Sr. Juan Carlos Sepúlveda	Fecha :	06.07.2016	
E-mail	juanca-sepulveda@hotmail.com	Validez :	10 días	
N° de O.T.		N° Guía Desp.		
	P.P	x	Fecha Despacho:	
ITEM	DESCRIPCION DEL PRODUCTO Y/O SERVICIO	P.Unit.	CANT	SUB TOTAL
	Filtro para cerveza			-
1.-	Fabricar una placa succión y recepción en plancha de acero inoxidable AISI 316 de 16 mm de espesor, según croquis			-
2.-	Fabricar placas distribuidoras en plancha de Ertacetel blanco de 15 mm de espesor, once izquierdas y diez derechas, según croquis.			-
3.-	Fabricar una placa de prensado móvil en plancha de acero inoxidable AISI 316 de 16 mm de espesor, según croquis			-
4.-	Fabricar un husillo trapezoidal M30 en acero inoxidable AISI 304 según croquis.			-
5.-	Fabricar barrote para el husillo en acero inoxidable AISI 304 según croquis.			-
6.-	Fabricar tuerca para el husillo en bronce SE-25 según croquis			-
7.-	Fabricar soporte para la tuerca del husillo en plancha de acero inoxidable AISI 304 de 5 mm de espesor, según croquis			-
8.-	Fabricar placa de fijación y anclaje en plancha de acero inoxidable AISI 304 de 16 mm de espesor, según croquis			-
9.-	Fabricar estructura soportante en perfil cuadrado 50 x 50 x 2 mm en acero inoxidable AISI 304, según croquis			-
10.-	Fabricar bandeja en plancha de acero inoxidable AISI 316 de 2 mm de espesor, según croquis			-
11.-	Fabricar dos rieles en acero inoxidable AISI 304 según croquis.	4.131.371	1	4.131.371
COND. DE VENTA:		NETO	4.131.371	
Orden de compra para iniciar el trabajo		IVA (19%)	784.960	
Contado contra entrega		TOTAL	4.916.331	
FECHA DE ENTREGA:	10 días hábiles			
Cancelaciones con transferencia bancaria a : JUAN MORALES R. Cta. Cte. 0630438-9 Bco. Santander				