

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA
FÁBRICA CBN TARIJA**

Por:

UNIV.: ANGÉLICA ROSMERY OÑA GUTIÉRREZ

**Modalidad de graduación: Proyecto de grado presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Abril de 2018

TARIJA-BOLIVIA

Resumen

El presente trabajo realiza la optimización del proceso de filtración de la fábrica Cervecería Boliviana Nacional S.A Planta Tarija.

Dicho proyecto se basa principalmente en datos recopilados de consumo de tierras filtrantes por hectolitro de cerveza filtrada y la cantidad de oxígeno que se incorpora en el proceso de filtración de la empresa que muestran que es posible optimizar este proceso, disminuyendo el consumo de tierras filtrantes y la incorporación de oxígeno usando una estrategia de filtración adecuada; es así que se realiza el análisis de las alternativas de solución y se realizan pruebas para determinar la estrategia de filtración más óptima.

También se realiza el análisis económico del proyecto para conocer el ahorro y los beneficios que presentaría el mismo.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

Capítulo I

Introducción

1.1 Antecedentes

1.1.1 Filtración

La filtración es una de las principales operaciones unitarias utilizadas en la industria para separar las partículas sólidas contenidas en una suspensión, ya sea de líquido o gas. Consiste en hacer pasar la mezcla o suspensión a través de un material poroso o algún otro medio filtrante para lograr que las partículas sólidas queden atrapadas en la superficie de este o en el interior de los poros, mientras que el líquido lo atraviesa totalmente y es colectado en otro recipiente por separado.

Es un método que tiene una gran aplicación en todo tipo de industrias; como consecuencia de esto, existen diversos equipos para filtración, así como también una amplia variedad de medios filtrantes, es decir, una para cada necesidad. A nivel industrial podemos observar procesos de filtración muy sencillos que esencialmente son una simple acción de tamizado y otros que presentan un grado mayor de dificultad, donde es indispensable el control de todas las variables que afectan la operación de filtrado como: temperatura de la mezcla, presión de filtrado, estabilidad química del líquido a filtrar, adición de coadyuvantes, etc.

El porcentaje de sólidos contenidos en la mezcla y el tamaño de partícula de los mismos son dos aspectos muy importantes que considerar al momento de hacer el diseño de un proceso de filtrado.

1.1.2 Filtración de cerveza

La cerveza es filtrada a través de unos filtros de tierras diatomeas (grupo de algas microscópicas fosilizadas), las cuales retendrán las partículas que le confieren turbidez a la misma: proteínas y células de levadura en suspensión.

La turbidez de la cerveza está compuesta básicamente por:

- Levaduras.
- Proteínas.
- Resinas de lúpulo.
- Turbidez biológica y no biológica.

Estos formadores de turbidez difieren uno de otro básicamente en tamaño de partícula y filtrabilidad

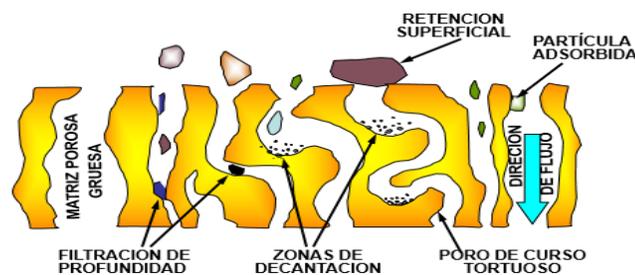
La etapa de filtración de cerveza es muy importante para:

- Reducir Sustancias Coloidales.
- Proporcionar “Estabilidad Organoléptica”.
- Reducir la Carga Microbiológica.
- Tornar límpida y brillante a la cerveza.

La Cervecería Boliviana Nacional S.A. Planta Tarija, cuenta con un filtro de discos horizontales que utiliza tierras diatomeas y el tipo de filtración es de profundidad, en la que se utilizan materiales altamente porosos (tierras diatomeas), los cuales obligan al líquido a recorrer caminos tortuosos, debido a su superficie muy grande y a su estructura laberíntica.

Figura 1-1

Tipos de filtración



Fuente: Filtración de cerveza (Cervecería Boliviana Nacional), 2002.

Actualmente la filtración se realiza con una dosificación continua de tierras. Una mezcla entre tierras Standard y Hyflo. Las características de cada una son:

Nombre comercial: Tierra Hyflo

Descripción: Kieselguhr utilizado como tierra filtrante de granulometría gruesa.

Uso: Se utiliza para filtración de cerveza durante la formación de las capas iniciales del filtro (primera precapa, segunda precapa). Además, se utiliza en la dosificación durante la filtración.

Nombre comercial: Tierra Standard

Descripción: Kieselguhr utilizado como tierra filtrante de granulometría media.

Uso: Se utiliza para filtración de cerveza durante la formación de la segunda precapa y dosificación durante la filtración.

Tabla 1-1

Grados y propiedades típicas de tierras filtrantes

	Grado	Color	Densidad g/l		% Retención malla 150	pH	Poro promedio [Micras]	Permeabilidad [d'Arcys]
			Seca	Húmeda				
Calcinado	Standar Super Cel	Rosado	128	326	4,6	2,1	3,5	0,29
Calcinado con fundente	Hyflo Super Cel	Blanco	144	323	5,6	2,3	7	1

Fuente: Folleto Celite, 2017.

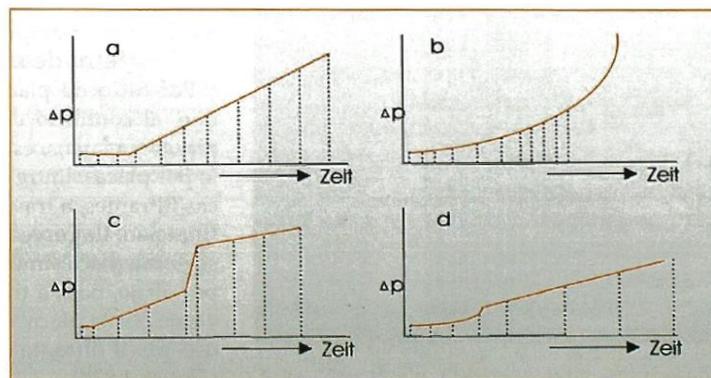
Normalmente cuando se tiene filtraciones con dosificación continua pueden surgir problemas operativos que reduzcan la capacidad de filtración de una planta.

En la siguiente figura se presentan las fuentes de error durante la dosificación de tierras continuas:

Figura 1-2

Fuentes de error durante la dosificación continua

Figura 4.82
Fuentes de error durante la dosificación continua
(a) aumento normal de presión
(b) dosificación demasiado baja
(c) bloqueo debido a irrupción de levadura
(d) dosificación demasiado elevada



Fuente: Wolfgang Kunze, 1999.

Como se ve en la figura 1-2, la curva que se debe obtener en una buena filtración es la primera, con una diferencia de presión que se mantiene constante al inicio de la filtración y que después aumenta con una pendiente no muy pronunciada.

1.1.3 Tipos de filtros para cerveza

Para los propósitos de filtración en la fabricación de cerveza, se utilizan los siguientes filtros:

- Filtros de precapa
 - Con placas y marcos
 - Con velas filtrantes
 - Con discos filtrantes
 - Filtros de hojas

- Filtros de placas
- Filtros de cámara (por ejemplo, filtro de templa)
- Filtros seccionales (por ejemplo, filtro de masa)
- Filtros de membrana

Para la filtración de cerveza se utilizan hoy en día casi únicamente filtros de precapa, filtros de placas y filtros de membranas; el filtro de masa, que dominaba durante décadas en la filtración de cerveza, es raramente utilizado hoy en día.

1.1.3.1 Preparación de filtro

A continuación, se presentan los pasos que se deben seguir para la preparación del filtro antes de filtrar la cerveza:

- Se esteriliza con soluciones de limpieza y agua caliente.
- Se recircula agua estándar (agua de bajo contenido de oxígeno, 10ppb) para eliminar parcialmente el oxígeno del sistema.
- Se elimina el oxígeno restante del sistema mediante el paso de CO₂.

Luego de realizar estas acciones se procede a filtrar la cerveza.

1.1.3.1.1 Planta de CO₂

El CO₂ es recuperado de dos fuentes:

- El CO₂ producido durante la fermentación en los tanques cilindro cónicos.
- El CO₂ remanente en los tanques de maduración al final de la filtración (CO₂ con el cual se empuja la cerveza para ser filtrada).

En ambos casos se realiza el control de pureza; si la pureza está dentro de los parámetros establecidos se comienza el tratamiento que tiene las siguientes etapas:

- **Trampa de espuma 1:** retiene la espuma que pueda arrastrar el gas desde la fermentación.
- **Trampa de espuma 2:** retiene la espuma que no se haya podido retener en la primera trampa.

- **Torre de lavado:** se hace un lavado del gas con agua a contracorriente, para retener otros productos volátiles que se producen en la fermentación.
- **Globo de almacenaje:** es un globo donde se almacena el CO₂ gaseoso que llega de planta a caudal variable.
- **Compresor:** se eleva la presión del CO₂ para comprimirlo.
- **Torre purificadora:** el CO₂ se inyecta a través de un lecho de carbón activado a contracorriente para eliminar los olores e impurezas que pueda contener.
- **Torre de secado:** se seca el gas para eliminar los restos de líquido que contenga con alúmina.
- **Intercambiador de tubos:** se usa refrigerante R-502 para enfriar el CO₂.
- **Tanque de almacenaje:** se almacena en estado líquido a presión elevada (alrededor de 15bar).
- **Vaporizador:** se aumenta la temperatura del líquido para convertirlo a estado gaseoso y alimentar a planta.
- **Tanque pulmón:** evita que haya fluctuaciones de presión en la planta, tiene una cantidad de gas acumulado que se consume cuando es necesario.

1.1.3.1.2 Agua desaireada

La Planta CBN Tarija utiliza un sistema de desaireación de agua CENTEC:

El agua entra por la parte superior de la columna de destilación y es llevada a través de un envase especialmente diseñado con una gran zona de contacto con la superficie. Se inyecta el CO₂ en la parte inferior y se traslada en contra de la corriente. Esto produce una alta y eficaz eliminación del aire. Luego, el agua desaireada es enfriada a una temperatura de 2 °C.

Beneficios

- Perfecto control del producto y del proceso
 - bajos valores de O₂

Aplicaciones

- Desaireación automática y confiable del agua

Datos técnicos**Especificaciones de salida**

Dependen de la capacidad, la pureza de los gases de destilación y las condiciones de entrada. Normalmente este tipo de tratamiento logra concentraciones entre 5-15 ppb de oxígeno disuelto en agua con un consumo de 1,2-1,5 g CO₂/l de agua. Es importante que el contenido de oxígeno en el CO₂ sea menor a 1 ppb.

1.2 Justificación

1.2.1 Punto de vista Técnico:

La optimización del proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija busca reducir el consumo de tierras filtrantes y minimizar la incorporación de oxígeno, permitiendo reducir costos de producción y lograr un producto de mayor calidad.

Al disminuir el consumo de tierras filtrantes se podrá disminuir el costo de producción de la cerveza.

Disminuir la incorporación de oxígeno en el proceso de filtración permitirá mejorar el indicador sensorial de la cerveza.

1.2.2 Punto de vista Económico:

Disminuir el consumo de tierras filtrantes permitirá reducir la cantidad de importación de las mismas, evitando así la erogación de divisas.

También se disminuirá el costo variable de producción, obteniendo así mayores utilidades.

Si se optimiza el consumo de tierras filtrantes, se alargan los ciclos de filtración; si hay menos ciclos y más largos, se reducirán también los picos de oxígeno.

1.2.3 Punto de vista Ambiental:

El consumir menor cantidad de tierras filtrantes permite tener menor cantidad de descarte de tierras (tierras sucias), esto es beneficioso debido a que las tierras no son un residuo común, ya que tienen una carga orgánica elevada; entonces se disminuirá el problema de la disposición final de las mismas (la planta CBN Tarija no cuenta con un sistema de tratamiento de tierras).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Optimizar el proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Describir el problema en el proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija.
- Describir las alternativas técnicas de solución.
- Seleccionar la alternativa de solución más apropiada.
- Definir la capacidad de los equipos del proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija.
- Minimizar el consumo de tierras filtrantes en el proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija.
- Minimizar la incorporación de oxígeno en el proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija.
- Realizar el balance de materia y energía del proceso de filtración en la fábrica CBN Tarija.
- Realizar el diseño de la optimización del proceso de filtración en la fábrica CBN Tarija.
- Realizar el análisis económico de la optimización del proceso de filtración en la fábrica CBN Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

Capítulo II

Marco teórico

2.1 Descripción de la CBN S.A. Planta Tarija

2.1.1 Antecedentes de la CBN S.A. Planta Tarija

Fruto de la iniciativa de la entonces existente Corporación Regional de Desarrollo de Tarija (CODETAR) y un grupo de empresarios alemanes, nace la única industria cervecera en Tarija, bajo la razón social de Cervecería Bavaria Unión Tarija (CERBAUT) el 6 de junio de 1975, constituyéndose como eslabón principal de la economía departamental.

El 8 de agosto de 1976, sale oficialmente la primera botella de cerveza tipo pilsener, marca “ASTRA”. La fabricación de la cerveza, en un principio, se la efectuaba bajo la dirección de los maestros cerveceros alemanes. En aquel tiempo la cerveza era envasada en la tradicional botella verde, luego ésta fue cambiando hasta llegar a la botella ámbar de 330 cc, 350 cc, 620 cc y 1000 cc de capacidad.

No fue tarea fácil consolidar esta empresa cervecera, en su etapa inicial. Se confrontaba con la necesidad de realizar una fuerte inversión de capital en la infraestructura y maquinaria; pero, en algunos socios no existía esa predisposición para continuar invirtiendo en la factoría. Pese a ello, el Ing. Fritz Lochmann Muller, miembro del citado grupo alemán, decidió ponerse al frente de la empresa, cubriendo las inversiones requeridas y adquiriendo la totalidad de las acciones de CODETAR y de los inversionistas alemanes. En esta forma, junto a un equipo humano de trabajo, en el que fusionó la experiencia de técnicos alemanes y la innovadora participación de gente de la región, logró convertir a CERBAUT, a partir del año 1978, en una pujante empresa regional.

En 1981, debido a la gran aceptación de la cerveza negra se decidió producir e incorporar al mercado de Tarija, la cerveza MALTA que tuvo gran acogida en la población por su sabor y alto valor nutritivo.

A pesar de ser una planta pequeña, pero con el deseo de cumplir las expectativas del mercado, lanzó varios nuevos productos: “Tarijeña” (cerveza pilsener en botella de un litro), “ASTRA Light”, “Chaqueña Tropicalizada” y cerveza en lata. Si bien estos productos tuvieron en principio gran aceptación, posteriormente quedaron fuera del mercado debido a la falta de inyección de capital.

Más tarde, en el afán de satisfacer a los consumidores, CERBAUT lanzó al mercado la cerveza en barril cuya principal característica es la de conservar sus atributos de calidad y frescura, además de tener un excelente sabor.

En agosto de 1997, se trasfiere esta industria cervecera, a un grupo de accionistas entre los que se encuentra Cervecería Boliviana Nacional Santa Cruz S.A. (CBN Santa Cruz S.A.) una de las más grandes industrias cerveceras de Bolivia, y cuya inyección económica e industrial permitió que la factoría tenga posibilidades de continuar creciendo, en el marco de la política económica de libre mercado planteada en la coyuntura mundial.

En el año 2000, producto de la fusión de la Cervecería Boliviana Nacional S.A. esta planta ingresa a ser parte del grupo QUINSA y a la fecha es parte de la industria cervecera líder AB InBev.

2.1.2 Localización

La CBN S.A. Planta Tarija, está ubicada en el sur del Departamento de Tarija, en la zona industrial sobre la Avenida Héroes del Chaco N° 2775.

Figura 2-3

Localización de la Planta CBN Tarija



Fuente: Google Earth, 2017.

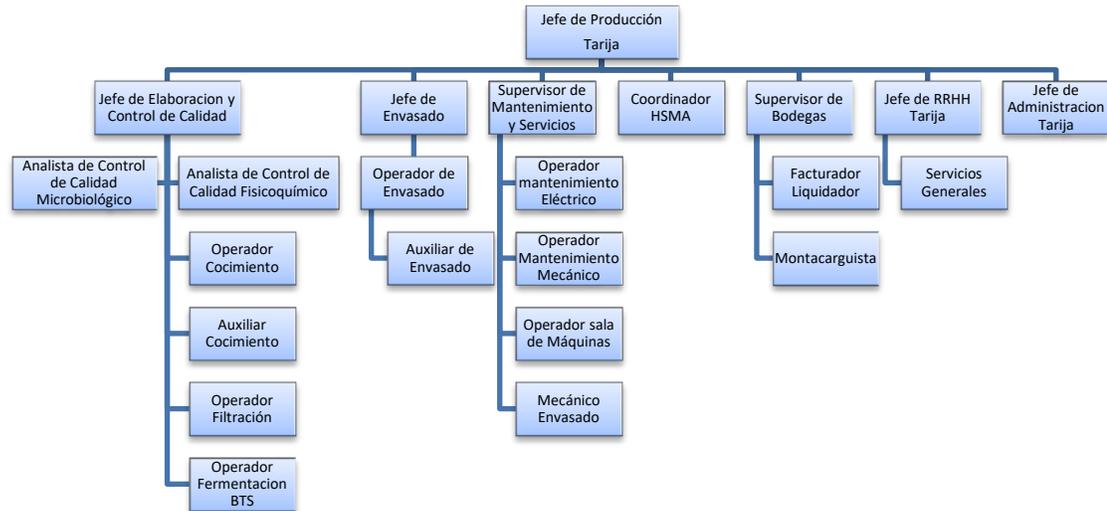
2.1.3 Organización

La CBN S.A., hoy es parte del grupo Anheuser – Busch InBev, la compañía cervecera líder en el mundo y una de las empresas internacionales de bebidas más importantes.

La organización de la CBN S.A. Planta Tarija, se encuentra en la figura 1-2, la compañía se divide en diferentes departamentos, siendo la cabeza del área industrial el gerente de planta, y los departamentos de Logística, Recursos Humanos, Finanzas y Ventas, son dirigidos por un jefe a nivel nacional.

Diagrama 1

Diagrama de bloques de la Organización de la Planta CBN Tarija



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.1.4 Descripción de las Áreas o Secciones de la Industria

La CBN S.A. Planta Tarija está formada por ocho áreas, las cuales son descritas a continuación:

2.1.4.1 Elaboración

Este sector se encarga de la elaboración de la cerveza, se subdivide en tres secciones: Cocimiento, Fermentación y Filtración.

Este sector deberá entregar al área de Envasado la cerveza filtrada, en tiempo, calidad y volumen requeridos, teniendo como referencia costos de elaboración y mantenimiento, conservando los activos del sector y mejorando la disponibilidad de los equipos con el fin de maximizar la capacidad de producción, buscando el cuidado

y la mejora continua de los recursos humanos y asegurando el cumplimiento de los parámetros de descargas de efluentes y gestión de subproductos.

2.1.4.2 Envasado

Este sector es el encargado de envasar la cerveza previamente filtrada y debe entregar la misma al área Logística, teniendo como referencia costos de elaboración y mantenimiento, conservando los activos del sector y mejorando la disponibilidad de los equipos a fin de maximizar la capacidad de producción, buscando el cuidado y la mejora continua de los recursos humanos y asegurando el cumplimiento de los parámetros de descargas de efluentes y gestión de subproductos.

2.1.4.3 Logística

El objetivo de este sector es garantizar la excelencia logística para la entrega de producto y presentación de servicios conforme con las políticas y estándares de la compañía.

El área de Logística se encarga de la recepción y almacenamiento de materia prima, insumos y repuestos, recepción de producto terminado para la venta, gestión de inventarios, planificación y abastecimiento.

Siendo su misión tener excelencia y mejora continua en el abastecimiento de materiales, almacenamiento, despacho de producto terminado, enfocados a brindar el mejor servicio a los clientes a menor costo posible y uso eficiente de los recursos naturales y energéticos.

2.1.4.4 Calidad

Esta área debe asegurar los estándares y controles de materiales, productos y procesos. Tiene como misión asegurar el cumplimiento de los estándares a lo largo de

todo el proceso y la disminución del número de reclamos por medio de mejoras continuas en el control del mismo.

2.1.4.5 People

La misión de esta área es atraer, desarrollar y retener a las personas que conforman los equipos de planta a través de la implementación de los procesos de gente, proveer soporte en la relación con los empleados y asegurar la implementación del Pilar de Gente de VPO.

2.1.4.6 Ventas

Persigue diversificar sus mercados comercializando productos de consumo popular, generando cada día más valor para los clientes, accionistas, empleados y comunidades a las que sirve a través de las acciones, enmarcadas en los principios de responsabilidad social, cumplimiento a las leyes y respeto al medio ambiente.

2.1.4.7 Mantenimiento y Servicios

Esta área se encarga de elaborar un conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas, contribuyendo a los beneficios de la empresa, tratando de alargar la vida de las máquinas de forma rentable.

El objetivo de esta área es definir un sistema de numeración de equipos para lograr confiabilidad de la información, trazabilidad de las órdenes de trabajo y rápida ubicación de los activos.

En cuanto a servicios, se refiere a la provisión de energía, fluidos y tratamiento de efluentes. El área tiene como misión producir para la planta la energía y fluidos necesarios con la calidad requerida conforme a las regulaciones vigentes al menor

costo posible, mantener a los activos del sector y mejorar la disponibilidad de los equipos a fin de maximizar la capacidad de producción, teniendo como referencia los costos de mantenimiento de clase mundial y asegurar que la descarga de efluentes cumpla con los requisitos legales.

2.1.4.8 Higiene, Seguridad y Medio Ambiente (HSMA)

Esta área se encarga del cumplimiento de las reglas de seguridad industrial garantizando la seguridad de las instalaciones, debe gestionar los residuos y subproductos de planta para maximizar las ganancias y minimizar los residuos, cumpliendo con los lineamientos locales de la AB InBev. También se encarga de la eliminación, reducción y prevención de las enfermedades profesionales derivadas del trabajo, asegurando la salud ocupacional de sus empleados.

2.2 Descripción del Proceso

La Cerveza es la bebida de bajo contenido alcohólico resultante de la fermentación del mosto de granos de cebada malteados a través de levadura cuidadosamente seleccionada, solo o aromatizado con lúpulo u otros derivados.

Para la fabricación de la cerveza se requieren cuatro materias primas: malta de cebada, lúpulo, agua y levadura. La calidad de estas materias primas influye en la calidad del producto final.

La malta de cebada es la materia prima principal para la fabricación de la cerveza, se obtiene del proceso de malteo de granos de cebada cervecera, de alto rendimiento en extracto. El malteo comprende el desarrollo controlado de la germinación del grano y con un procedimiento final de secado y tostado. Una vez transformada, la malta cederá al almidón las enzimas y las proteínas necesarias para la elaboración del mosto.

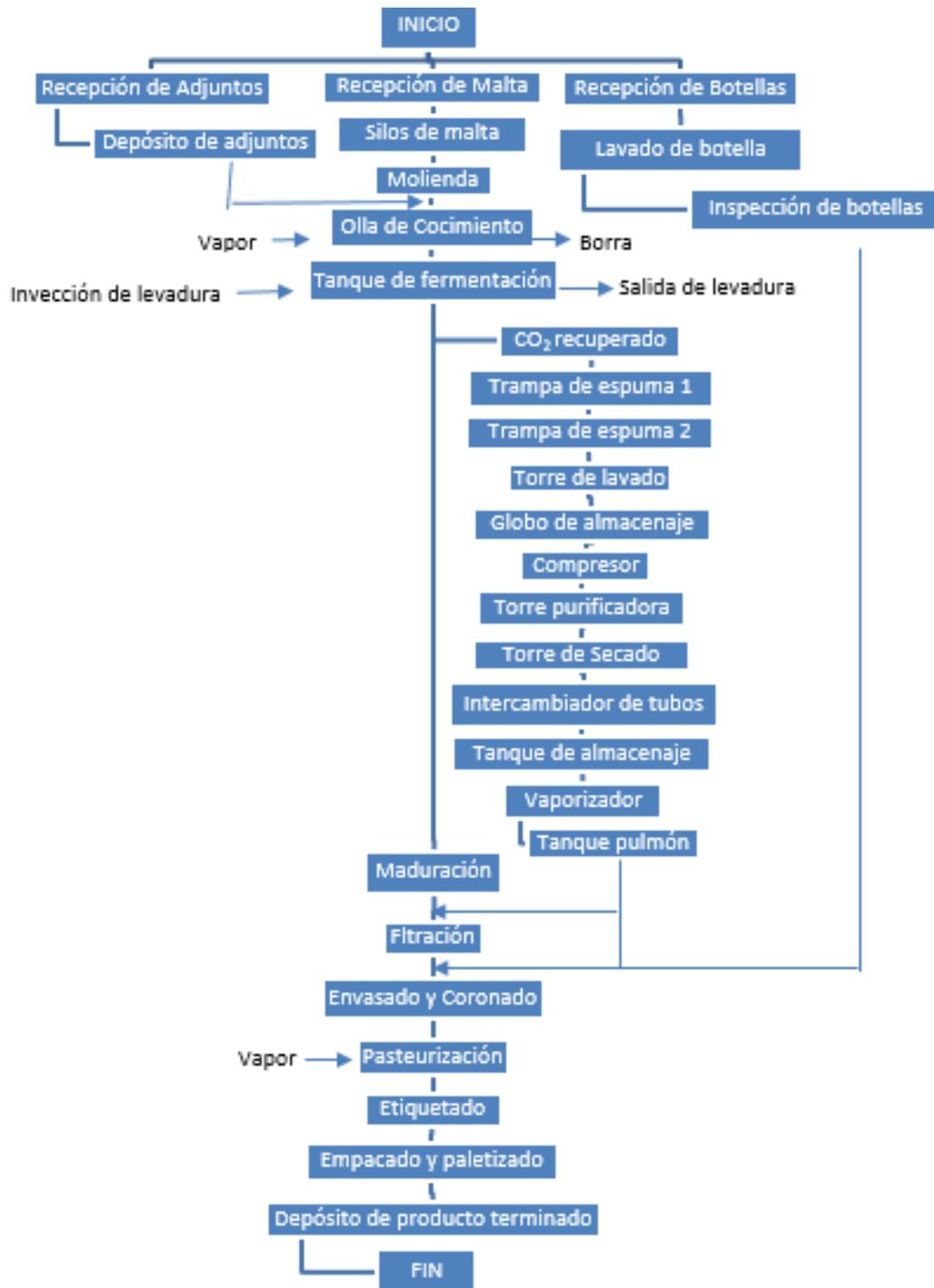
El lúpulo proviene de las flores maduras femeninas de la planta de lúpulo. Dota a la cerveza de gusto amargo, agradable y de fino aroma que lo caracteriza, interviniendo en la formación y calidad de espuma.

Las levaduras son hongos unicelulares que se reproducen por gemación. La levadura es esencial para el proceso de la elaboración de cerveza en donde la mayor parte de las sustancias presentes en el mosto (azúcares) difunden a través de la pared hacia el interior de la célula. Es ahí donde los azúcares se transforman en alcohol y gas carbónico. A esta transformación se la conoce con el nombre de fermentación. A su vez, en el interior de la célula se generan otros subproductos que son claves para el desarrollo del sabor y aroma de la cerveza.

El agua, al igual que todos los demás componentes, es de gran importancia en el proceso porque colabora en el sabor final del producto y debe mantenerse con los estándares de calidad exigidos.

El diagrama de bloques de la elaboración de la cerveza en CBN S.A. Planta Tarija, se encuentra detallado a continuación.

Diagrama 2
Proceso de producción de cerveza



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.2.1 Recepción y Almacenamiento de Materias Primas

2.2.1.1 Malta

La malta es entregada en camiones al área de Logística, la cual revisa que se cumplan los requerimientos establecidos en la institución; una vez aprobada es almacenada en silos de paredes lisas y fondo cónico.

La CBN S.A. Planta Tarija, cuenta con tres silos con una capacidad de almacenamiento de 30 toneladas.

2.2.1.2 Sémola de Maíz e Insumos

La sémola y los insumos (lúpulo, conservantes y colorantes autorizados) son entregados en camiones al área de Logística, la cual, a su llegada, realiza la revisión del cumplimiento de los lineamientos establecidos por la empresa; una vez aprobado el ingreso, son almacenados en el almacén central e intermedio de materias primas.

2.2.2 Molienda

A los efectos de posibilitar a las enzimas de la malta que actúen sobre los componentes de la misma y que los descompongan durante la maceración, la malta debe ser triturada; a este proceso se llama molturación.

Para la trituración debe tenerse en cuenta una serie de consideraciones. Pero antes de molturar la malta, la cantidad de carga utilizada es pesada con una balanza.

La malta es triturada en el molino.

En la maceración, las enzimas deben tener la posibilidad de alcanzar cadenas de almidón, para degradarlos. Para ello, la malta debe ser triturada. Con una trituración progresiva, aumenta la superficie de ataque para las enzimas y mejora la degradación de las sustancias. Pero posteriormente a la maceración se realiza la filtración del

mosto. Esto es un proceso, en el que se requieren las cáscaras como material filtrante, en dependencia del equipo de filtración de mosto utilizado.

Dado que las cáscaras se requieren para la filtración del mosto, éstas deben ser destruidas lo menos posible durante la molturación. Una cáscara seca se astilla fácilmente y, debido a la formación de pequeñas partículas por el astillado, se reduce fuertemente la capacidad de filtración de la cáscara. Por otro lado, la cáscara será tanto más elástica, cuanto más húmeda se encuentre. Por humedecimiento, la cáscara se hace más elástica y puede ser protegida más fácilmente; de esta manera, el proceso de filtración de mosto se desarrolla de forma más rápida. Este proceso se denomina acondicionamiento.

2.2.3 Maceración

La maceración es el proceso más importante en la fabricación de mosto. En la maceración, la molienda y el agua son mezcladas entre sí (macerados). Los componentes de la malta entran así en solución y, con ayuda de las enzimas, se los obtiene como extractos. Las transformaciones durante la maceración tienen una importancia decisiva.

Todas las sustancias que entran en solución se denominan extracto.

Son solubles, por ejemplo, los azúcares, las dextrinas, las sustancias minerales y determinadas sustancias albuminoideas.

Insolubles son el almidón, la celulosa, una parte de las sustancias albuminoideas de alto peso molecular y otros compuestos, que quedan como heces al final del proceso de filtración de mosto.

Por motivos económicos, se trata de convertir en soluble la mayor cantidad posible de compuestos insolubles, es decir, formar mucho extracto, en lo posible. Sin embargo, no es solo de importancia la cantidad, sino en especial la calidad del extracto, porque

hay ciertas sustancias (por ejemplo, los taninos provenientes de las cáscaras) que son indeseadas, en tanto que otras (por ejemplo, determinados azúcares o productos de degradación de proteínas) son particularmente requeridas.

Por eso, el propósito de la maceración es la degradación completa del almidón para la obtención de azúcares y dextrinas solubles. La cantidad principal de extracto recién es formada durante la maceración, por la actividad de las enzimas, a las cuales se deja actuar con sus temperaturas óptimas.

2.2.4 Filtración del Mosto

La cuba de filtración es el equipo de filtración más antiguo y, por lejos, el más difundido. Consiste en un recipiente cilíndrico, sobre cuyo doble fondo ranurado se depositan las heces, filtrando el mosto.

En las últimas décadas ha habido una serie de cambios en el diseño y el modo de operación de las cubas de filtración.

La influencia perjudicial del oxígeno sobre el mosto ya es conocida desde hace mucho tiempo. Justo al descargar el mosto de las válvulas con cuello de cisne a la canaleta colectora, es muy alta la absorción de oxígeno. Para no tener que comprar una nueva cuba de filtración, la fábrica ha conectado los tubos de descarga con un tubo colector, detrás de las válvulas de cuello de cisne, y llevan el mosto directamente a la paila o al tanque de espera, sin absorción de oxígeno. Se mantiene así la vista de la canaleta colectora, sin que cumpla una función en la filtración. Pero se la utiliza todavía en la descarga del agua de enjuague.

2.2.5 Cocción del Mosto

El mosto obtenido se cuece durante 90 a 130 minutos (dato referencial). Durante ese tiempo se agrega el lúpulo.

Durante la cocción del mosto pasan a éste componentes amargos y aromáticos del lúpulo y al mismo tiempo se precipitan sustancias albuminoideas.

La cocción del mosto ocurre en la paila de mosto, que está equipada con todo lo necesario para la cocción. El producto final de la cocción del mosto es llamado mosto caliente.

Durante la cocción del mosto ocurre una serie de procesos, que son de importancia para la elaboración:

- Disolución y transformación de componentes del lúpulo.
- Formación y precipitación de compuestos formados por proteínas y polifenoles.
- Evaporación parcial del agua.
- Esterilización del mosto.
- Destrucción de todas las enzimas.
- Reducción del pH del mosto.
- Formación de sustancias reductoras
- Evaporación de sustancias volátiles indeseadas.

Dado que la levadura solo puede fermentar a bajas temperaturas, se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible a una temperatura de 10 a 12°C. Esto ocurre en un intercambiador de placas.

Durante este proceso el mosto primeramente brillante se enturbia, debido a la formación de trub en el frío. El enfriamiento del mosto es importante, porque la permanencia prolongada en temperaturas intermedias incrementa el riesgo de propagación de microorganismos perjudiciales para la cerveza. En el momento de bombeo de mosto caliente, este último se encuentra libre de gérmenes. Si ingresan a la cerveza durante el proceso de producción microorganismos perjudiciales para aquélla y se propagan, pueden influir negativamente en la cerveza o convertirla en no

apta para la venta, ya antes de la filtración por la formación de productos de metabolización.

Durante el proceso de cocción del mosto se elimina una gran parte del oxígeno que pudiera contener el agua usada en origen dando lugar a una mezcla muy rica en azúcares, pero muy pobre en ese gas. Para poder trabajar con éxito las levaduras necesitan tener a su disposición buenas cantidades de oxígeno y por ello es fundamental ver la manera de reincorporar este gas al mosto justo antes de empezar la fermentación.

La cantidad de oxígeno requerida depende de la vigorosidad o fuerza de la levadura, la temperatura del mosto, la densidad del mosto y la turbidez del mosto. Por ejemplo, mostos con alta temperatura y alta densidad tienen mayor necesidad de oxígeno que mostos a bajas temperaturas y densidades. Mostos con turbidez baja tienen altos requerimientos de oxígeno, mientras que mostos con alto nivel de turbidez tienen menores requerimientos de oxígeno.

El requerimiento de oxígeno puede estar en el rango de 3 a 30 mg/l, pero usualmente este está en el rango de 7 a 18 mg/l. Levaduras vigorosas con bajo requerimiento de oxígeno pueden ser aireadas usando aire estéril con contenidos desde 8 mg de O₂ por litro, mientras que levaduras con grandes requerimientos de oxigenación deberán ser aireadas con oxígeno gaseoso puro.

Niveles de oxigenación muy bajos resultarán en aromas anormales. A bajos niveles de oxigenación la respiración de las levaduras produce significativa cantidad de ésteres, principalmente etilacetato, pero también isoamilacetato y etilcaproato, y este irreversiblemente perfumará la cerveza con aromas a solventes y frutas. Una inadecuada oxigenación también produce ácido pirúvico, ácidos grasos, y aminoácidos desde decarboxilato hasta aldehídos. El acetilaldehído, (aldehído del ácido pirúvico), generalmente predomina, dando a la cerveza un olor similar al de las manzanas verdes. Elevados niveles de diacetil pueden darse en mostos fríos con bajo

nivel de oxígeno. Mostos con aireaciones pobres pueden resultar en tiempos de fermentación elevados y altas densidades finales.

2.2.6 Fermentación

Para la transformación del mosto en cerveza, los azúcares contenidos en el mosto deben ser fermentados, por las enzimas de la levadura, a etanol y dióxido de carbono.

Se forman en este proceso subproductos de fermentación que influyen de forma substancial sobre el sabor, el olor y otras propiedades de valoración de la cerveza. La formación y la degradación parcial de estos productos secundarios están íntimamente ligadas con el metabolismo de la levadura y solo pueden ser consideradas en conexión con este último.

El proceso más importante es la fermentación de los azúcares contenidos en el mosto a etanol y dióxido de carbono por parte de la levadura. Las reacciones en la fermentación se pueden dividir en reacciones de fermentación principal y reacciones de maduración, pero las reacciones solapan entre sí. Es por ello necesario considerar las reacciones de fermentación y maduración como un proceso continuo.

Juega en esto un papel especial el hecho de que, debido al metabolismo de la levadura, se formen durante la fermentación productos secundarios y que algunos de ellos sean degradados nuevamente de forma parcial. Estos productos secundarios de fermentación determinan de forma decisiva, junto con los componentes del lúpulo, el sabor y el aroma de la cerveza. Por ello, es particularmente importante saber cómo se forman y cómo se degradan.

2.2.7 Maduración

En la fase de maduración, tienen lugar dos procesos, aparte de la fermentación secundaria, los que deben ser considerados en forma separada: la saturación de la

cerveza con dióxido de carbono, bajo sobrepresión, y la extracción de todos los componentes formadores de trub de cerveza.

2.2.8 Filtración

Al finalizar el proceso de maduración, la cerveza está libre de oxígeno, pero aún quedan contenidas células de levadura y otras partículas de turbidez como sólidos en suspensión, los cuales deben ser extraídos sin que tenga acceso a la cerveza el oxígeno deteriorante.

La filtración es un proceso de separación, en el cual se extraen las células de levadura y otras sustancias que confieren turbidez aún contenidas en la cerveza. En este proceso también se separan aquellas sustancias, que, de lo contrario, precipitarían por sí solas en el curso de las próximas semanas y meses causarían turbidez en la cerveza.

El objetivo de la filtración es hacer que la cerveza sea conservable de manera tal que por un tiempo prolongado no se produzcan cambios visibles.

La filtración ocurre de manera tal que la cerveza aún turbia es separada por un medio filtrante en un líquido filtrado clarificado y un residuo de filtración o torta filtrante, que queda retenido.

La filtración es impulsada por una presión diferencial entre la entrada del filtro y la salida del mismo. La presión del lado de entrada es siempre mayor que la presión del lado de salida. Cuanto mayor sea esta diferencia de presión tanto mayor es la resistencia ejercida por el filtro a filtración. Esta presión diferencial aumenta fuertemente hacia el final de la filtración.

2.2.9 Embotellado

La cerveza es envasada en botellas de vidrio, durante el envasado deben conservarse todos los parámetros de calidad y se debe evitar cualquier ingreso de aire a la cerveza. Para la realización del envasado desde el suministro hasta el despacho se requiere un sistema integral de máquinas, embalaje y transporte. A través de un sistema integral de control debe cuidarse de que únicamente salgan a la venta aquellas botellas que cumplen las normas requeridas.

En CBN S.A. Planta Tarija, se envasa la cerveza en botellas de vidrio retornables. El vidrio es en muchos aspectos un material ideal de embalaje para bebidas.

En la preparación y tratamiento para el envasado de botellas de vidrio retornables es necesaria una serie de pasos de proceso:

- La clasificación de las botellas y cajones, en botellas y cajones propios y ajenos.
- El control de las botellas retornables devueltas.
- El lavado de botellas retornables.
- La inspección de botellas retornables limpiadas en lo que respecta a limpieza y daños.
- El llenado y coronado de las botellas.
- El control de nivel de llenado de las botellas llenadas.
- El pasteurizado de las botellas llenadas.
- El etiquetado y codificado de las botellas.
- El embalaje en cajones y paletizado.

2.2.10 Pasteurizado

Cuando se pasteuriza una bebida en la botella, ya no se pueden desarrollar microbios en la bebida. La pasteurización es por ello el método más seguro de estabilización de una bebida, sobre todo si aún contiene sustancias fermentables disueltas.

En la pasteurización se calienta todo el contenido de la botella a la temperatura de pasteurización deseada, la cual se mantiene durante el tiempo correspondiente para proveer a la bebida las unidades de pasteurización necesarias para la destrucción de todos los contaminantes.

Este proceso se realiza en un pasteurizador tipo túnel, durante 10 a 20 minutos (dato referencial) a una temperatura de 60°C. Estas condiciones ofrecen normalmente una estabilidad biológica segura; sin embargo, la pasteurización puede afectar adversamente las cualidades sensoriales de la cerveza, comprometiendo negativamente su calidad, siendo mayor este efecto cuando la presencia de oxígeno disuelto es alta.

En los libros de estudio generalmente se utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de las unidades de pasteurización:

$$UP = Tiempo * 1.393^{(t-60)}$$

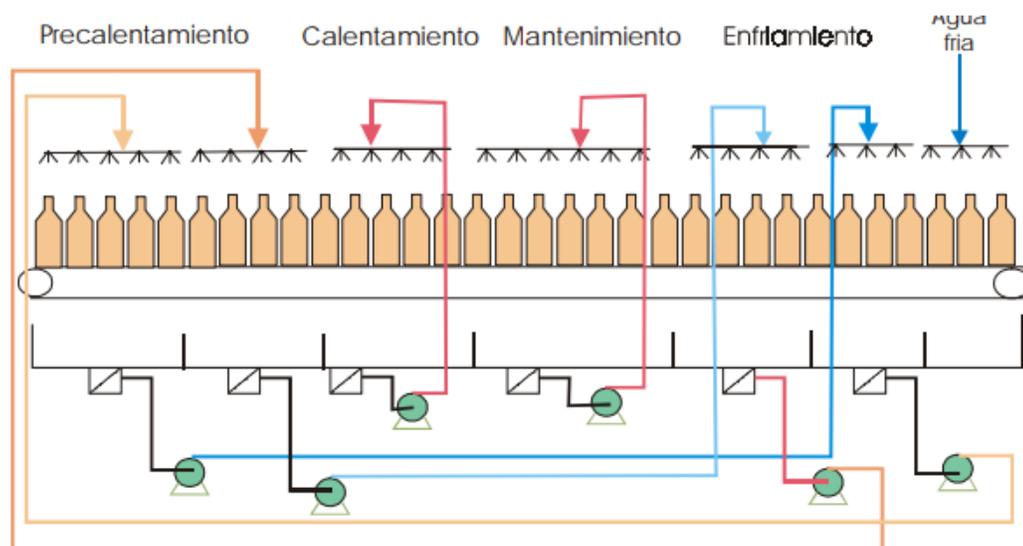
Sin embargo, como normalmente las unidades de pasteurización (UP) se establecen previamente, para calcular la temperatura correspondiente a una cierta carga térmica y a un determinado tiempo de proceso, la fórmula debe modificarse:

$$\frac{\log \frac{UP}{Tiempo}}{\log 1.393} + 60 = Temperatura\ de\ pasteurización$$

Las botellas de cerveza van pasando por diversas secciones dentro del túnel de pasteurización, donde se rocía agua caliente y agua fría. Cada sección del túnel tiene el agua a diferentes temperaturas para que los saltos térmicos sean graduales. Las botellas son llevadas por transportadores a una velocidad uniforme para que estén el tiempo debido en cada sección.

Figura 2-2

Túnel de pasteurización



Fuente: La industria cervecera, 1999.

En CBN Planta Tarija se realiza la pasteurización del producto terminado consiguiendo las UP mínimas para asegurar que no exista contaminación microbiológica.

2.2.11 Almacenamiento

Antes de almacenar la cerveza embotellada, debe ser etiquetada mediante una máquina etiquetadora automática donde se especifica con un código, la fecha y hora

de envasado y la fecha de expiración del producto. Pasada esta etapa se realiza el encajonado de las botellas para luego ser pasadas a los almacenes donde serán distribuidas.

2.3 Servicios Auxiliares

Los siguientes son los servicios auxiliares con los que cuenta la Planta:

2.3.1 Sistema de Agua

Este tipo de industrias consumen grandes volúmenes de agua, tanto para la limpieza de los equipos, como para las etapas de elaboración del producto. La fuente de agua en CBN S.A. Planta Tarija es de dos pozos subterráneos de propiedad de la misma empresa.

2.3.2 Sistema de Generación de Energía Eléctrica

La fuente de energía eléctrica de la CBN S.A. Planta Tarija, es proporcionada por la empresa de Servicios Eléctricos de Tarija (SETAR), es energía trifásica de 380 voltios, que pasa por un transformador para su respectivo uso.

2.3.3 Sistema de Refrigeración

Un sistema de refrigeración por compresión de amoníaco, utilizado para enfriar glicol manejado en la refrigeración de las áreas de fermentación, maduración y filtración y evitar la contaminación de la cerveza con amoníaco.

2.3.4 Sistema de Aire Comprimido

Se genera aire comprimido que es utilizado en el proceso de elaboración de la bebida.

2.3.5 Sistema de Dióxido de Carbono

CBN S.A. Planta Tarija recupera dióxido de carbono. Se utiliza para la gasificación bajo contrapresión en la llenadora, contrapresión para tanques de almacenamiento de cerveza, embotellamiento y neutralización de residuos cáusticos y es recuperado del proceso de fermentación donde una molécula de glucosa fermentada se transforma tanto en dos moléculas de etanol como de dióxido de carbono. La ecuación que rige este proceso de recuperación es la siguiente:



2.3.6 Sistema de Generación de Vapor

El vapor generado es utilizado para calentar algunos equipos, como los tanques de solución de soda cáustica utilizada en la lavadora de botellas, también para el área de elaboración y la pasteurización de la cerveza. El vapor es generado mediante 2 calderos humotubulares, que funcionan dependiendo del requerimiento de vapor en planta, producen 1000 kilogramos de vapor sobrecalentado por hora, a 180°C, y 4 bares de presión. La entrada de agua es de 8 bares como máximo, generalmente ingresa a 4 bares. Estas calderas son automáticas para gas natural, con retorno de llama.

2.4 Planta de Tratamiento de Efluentes

Se encarga de tratar el agua usada en el proceso para que a su salida cumpla con los requerimientos de la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado Tarija Ltda. (COSAALT Ltda.).

El listado de los parámetros y los valores máximos permitidos por COSAALT se muestran a continuación:

Tabla 2-1

Característica	Unidades	Valor máximo
Temperatura	°C	40
pH		6,5-8,5
Color	Uc	1000
Solidos suspendidos	mg/l	500 gravimetría
Solidos totales	mg/l	2000
Solidos sedimentables	ml/l	20
DB05	mg/l	250
DQO	mg/l	500

Fuente: COSAALT Ltda., 2017.

Se caracteriza por tener dos etapas en el tratamiento biológico. La primera etapa biológica es a través de biomasa adherida tipo MBBR (Moving Bed BioReactor) con relleno móvil que permite altas tasas de carga y eficiencias del 60% aproximadamente. Seguido al MBBR, continúa una etapa de afinamiento del tipo de barros activados en aireación extendida compuesto por la cámara de aireación y un sedimentador secundario diseñado para lograr la clarificación final del efluente. A continuación, se menciona cada una de las unidades:

- Bombeo y Pre tratamiento
- Ecuilizador y Secuestrante
- Acondicionamiento
- Tratamiento Biológico
- Tratamiento de Lodos.

CAPÍTULO III

CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL

PROBLEMA

Capítulo III

Concepción y Definición del Problema

3.1 Definición del Problema

El consumo de tierras en el proceso de filtración de la CBN Tarija es elevado y tiene un impacto directo en el costo variable de producción de la Planta; también afecta al momento de la disposición final de este residuo debido a que tiene una carga orgánica elevada.

Además, la incorporación de oxígeno en este proceso afecta al indicador sensorial de la cerveza provocando un mal sabor en la misma.

Actualmente la Cervecería Boliviana Nacional S.A. Planta Tarija, en su proceso de filtración consume una cantidad elevada de tierras filtrantes, teniendo un consumo promedio de 125 g de tierras/Hl de cerveza filtrada.

El objetivo de la empresa es consumir 95 g de tierras/Hl de cerveza filtrada. Este objetivo se define en función al comportamiento histórico de la empresa, menos un porcentaje de mejora.

Por otro lado, también se incorpora mucho oxígeno al momento de la filtración, se tiene un valor promedio al inicio de filtración de 4,62 ppb y un valor promedio al final de la filtración de 12,76 ppb. Se quiere evitar la incorporación de oxígeno en el proceso de filtración debido a que la cerveza contiene componentes fácilmente oxidables, que al reaccionar con el oxígeno forman compuestos que le dan un sabor avejentado a la cerveza, que tiene un impacto sensorial.

Tomando en cuenta estos dos aspectos es posible realizar la optimización y mejora del proceso de filtración de la CBN Tarija.

La caracterización del consumo de tierras filtrantes en el proceso de filtración se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3-1

Datos de caracterización de consumo de tierras filtrantes

Ciclo	Relación de tierras Std/Hyflo [%/%%]	Cantidad total de tierras [Kg]	Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/Hi]
1	30/70	50,42	425	119
2	30/70	52,00	503	103
3	30/70	44,75	298	150
4	30/70	42,90	334	128
5	50/50	41,65	338	123
Promedio		46,34	379,6	125

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como se puede apreciar en la tabla 3-1, en los diferentes ciclos, el volumen filtrado no es el que se quiere alcanzar, lo que causa que existan cuatro ciclos de filtración por semana haciendo que el consumo específico de tierras esté fuera del objetivo planteado por la empresa.

Durante la filtración es importante controlar el contenido de oxígeno. A continuación, se muestran los datos de oxígeno en tanques de fermentación y tanques de maduración al inicio de la filtración.

Para realizar el cálculo de las medias ponderales de los datos de oxígeno antes de la filtración es necesario conocer los volúmenes de los tanques tanto de fermentación como de maduración:

- Tanques de fermentación:

TCC-6	180 HI
TCC-7	180 HI
TCC-8	300 HI
TCC-9	300 HI
TCC-10	360 HI
TCC-11	360 HI
TCC-18	240 HI

- Tanques de maduración:

TM-1	110 HI
TM-2	110 HI
TM-3	110 HI
TM-4	110 HI
TM-19	240 HI

Tabla 3-2

Datos de Oxígeno antes de la filtración

Fecha de entrada	Tanque de fermentación	O2 en TCC [ppb]	Tanque de maduración	Volumen de traspaso [HI]	O2 en tanque de maduración [ppb]
02/10/2017	TCC10	3	19	116,00	4
			3	97,50	15
			4	126,40	2
03/10/2017	TCC8	1	2	120,90	1
			4	130,10	2
05/10/2017	TCC18	0	2	113,90	15
11/10/2017	TCC9	0	4	130,40	3
			3	24,80	5
			2	25,60	3
12/10/2017	TCC10	0	19	250,00	2
13/10/2017	TCC7	3	2	93,00	3
			3	85,60	3
18/10/2017	TCC8	2	1	105,60	2
			2	102,30	3
			3	83,40	15
19/10/2017	TCC11	0	4	128,90	1
			19	211,40	2
25/10/2017	TCC7	2	4	119,60	3
			3	58,70	10
26/10/2017	TCC9	1	2	106,80	1
			19	179,70	7
27/10/2017	TCC10	2	1	120,90	0
			19	228,90	12

31/10/2017	TCC8	4	1	120,00	1
			2	120,70	4
Media		1,49			4,62

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

En la tabla 3-2 se muestran los datos de oxígeno antes del proceso de filtración, como se puede ver el promedio y en general los datos son bajos y aceptables.

Para realizar el cálculo de las medias ponderales de los datos de oxígeno después de la filtración es necesario conocer los volúmenes de los tanques BBT:

- Tanques BBT:

M-1	110 HI
M-2	240 HI
M-3	90 HI

Tabla 3-3

Datos de Oxígeno después de la filtración

Fecha del análisis	Medidora	Volumen [HI]	O2 en tanque BBT [ppb]
02/10/2017	3	90	12
	1	97	13
03/10/2017	2	230	3
04/10/2017	1	100	20
	3	66	17
	2	230	14
	1	73	4
05/10/2017	3	69	11
09/10/2017	2	230	8
10/10/2017	3	90	10
	1	105	8
	2	170	19
11/10/2017	3	90	11
	2	238	14
12/10/2017	1	100	8
	3	67	4
16/10/2017	2	219	20
17/10/2017	3	80	14
	1	96	18

	3	80	20
19/10/2017	3	90	14
	1	91	15
	2	236	20
	3	90	20
23/10/2017	3	90	19
	2	240	13
26/10/2017	3	90	11
	1	100	12
	2	150	4
27/10/2017	3	90	12
	1	104	11
	2	221	7
30/10/2017	3	90	20
	1	100	11
	2	232	10
01/11/2017	2	240	20
	1	100	10
06/11/2017	3	90	16
	1	102	2
Media			12,76194236

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

Comparando los datos de oxígeno antes y después de la filtración se puede concluir que en el proceso de filtración se incorpora considerablemente oxígeno a la cerveza.

3.2 Descripción de alternativas técnicas de solución

Para optimizar el proceso de filtración, tanto para disminuir el consumo de tierras filtrantes como para disminuir la incorporación de oxígeno, se describirán las opciones más relevantes acerca del proceso.

Se toma en cuenta todas las ventajas y desventajas de cada opción, y se selecciona la opción más apropiada en función a los aspectos más relevantes a considerar: riesgo de operación, costo, tiempo de operación, calidad del producto y residuos, expresados en una matriz de decisión.

3.2.1 Cambio de filtro de discos a un filtro de velas

En el presente trabajo se analiza el cambio del filtro de discos con el que cuenta actualmente CBN Tarija por un filtro de velas.

Los filtros de precapa con velas filtrantes son recipientes cilíndrico-cónicos, que se someten a presión.

Debajo de la tapa del filtro se encuentra la placa de velas filtrantes, de la cual cuelgan sujetas las velas filtrantes.

Las velas filtrantes son el medio filtrante sobre el cual se deposita el medio auxiliar de filtración. Para poder realizar la filtración se enrolla un alambre trapezoidal sobre un perfil de apoyo, con una separación de 50 a 80 μm .

Dado que en un filtro pueden estar colocadas hasta 700 velas, se forma así una gran superficie filtrante, lo cual garantiza un gran caudal a través del filtro, que a su vez tampoco posee piezas móviles.

La superficie filtrante de una vela de:

- 25 mm de diámetro y 1,5 m de longitud es 0,118 m^2
- 30 mm de diámetro y 1,5 m de longitud es 0,141 m^2
- 35 mm de diámetro y 2 m de longitud es de 0,220 m^2

Incluye una serie de otras tuberías, conexiones e instrumentos de control adicionales.

Todos los accesorios del filtro están minuciosamente contruidos para no permitir, en ninguna circunstancia ni la más mínima absorción de oxígeno al principio, durante y después de la filtración.

Secuencia de operación en la filtración y la limpieza del filtro:

- Llenado del filtro con agua. Dado que el agua entrará más tarde en contacto con la cerveza se debe utilizar agua desgasificada. Esta agua es bombeada en circuito cerrado.
- Luego se inicia la filtración, conmutando del agua a la cerveza. La cerveza sin filtrar desplaza lentamente al agua en el filtro, desde abajo hacia arriba y es filtrada a través de las velas. Previamente se prepara en el aparato dosificador una mezcla de tierras filtrantes y se efectúa la adición dosificada de la misma a la cerveza a través de la bomba dosificadora. Sin embargo, debe remarcarse que el límite entre el agua y la cerveza es pequeño, pero no absoluto.
- La filtración se realiza ahora del mismo modo; se forma una capa cada vez más gruesa alrededor de las velas, debido a las tierras filtrantes adicionadas en forma dosificada.

Esta capa filtra cada vez más fino, pero causa un aumento continuo de la presión de entrada. Cuando se ha alcanzado la presión máxima permitida de 6 a 8 bar, se debe finalizar la filtración.

3.2.2 Cambio en la estrategia de filtración

El cambio en la estrategia de filtración es la segunda alternativa que se analiza en este trabajo.

Actualmente la CBN Tarija filtra con la siguiente estrategia:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Dosificación de tierras: continua

Caudal de dosificación de tierras: variable (según la turbidez inicial)

Caudal de filtración: variable (de acuerdo con la diferencia de presión)

Lo que se busca es cambiar esta estrategia de filtración para disminuir el consumo de tierras filtrantes y la incorporación de oxígeno en el proceso de filtración, que permitirá también ahorrar tiempo y obtener menor cantidad de residuos.

Para definir la nueva estrategia hace falta hacer la caracterización de la filtración, obteniendo datos precisos y necesarios que nos ayuden a definir qué factores tenemos que cambiar de la estrategia actual.

3.3 Selección de la alternativa de solución más apropiada

Debido a lo mencionado anteriormente, se procede a realizar la selección de la alternativa más apropiada en función de ciertos parámetros de importancia, calificados con ciertos porcentajes de acuerdo a distintos criterios: Riesgo de operación, un factor importante debido a que se trata de prevenir los accidentes para el personal, siendo éste un objetivo global en la empresa; costos, se debe tratar de reducir los costos de instalación de los equipos y del mantenimiento de los mismos a lo largo del tiempo; tiempo de operación, calidad del producto y residuos. A continuación, se pone a consideración la matriz de decisión para la selección de la alternativa más adecuada.

Tabla 3-4
Matriz de decisión

Factores	%	Cambio de estrategia		Cambio a filtro de velas	
Riesgo de operación	3	4	12	3	9
Costo	62	4	248	1	62
Tiempo de operación	10	3	30	3	30
Calidad del producto	10	4	40	4	40
Residuos	15	3	45	3	45
Total	100		375		186

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 3-5
Valoración de la escala para la matriz de decisión

Valoración de la escala	
1	Malo
2	Regular
3	Bueno
4	Excelente

Fuente: Elaboración propia, 2017

De acuerdo con la matriz de decisión, la alternativa más adecuada es el cambio de estrategia de filtración, debido a que no representa un riesgo para el personal, el tiempo de operación no es muy significativo en comparación con el filtro de velas, no se pone en riesgo la calidad del producto, la cantidad de residuos es igual que el filtro de velas y por último y más importante, el costo es mucho menor en comparación a comprar un filtro de velas.

Es por estos factores que la alternativa de solución más apropiada es cambiar la estrategia de filtración.

3.4 Definición de condiciones y capacidad

La Cervecería Boliviana Nacional Plata Tarija filtra alrededor de 1100 Hl por semana (dato referencial), por lo que tiene una producción de cerveza por encima de los 50000 Hl por año (dato referencial).

El consumo de tierras promedio es de 125 g/Hl, entonces la CBN Tarija consume aproximadamente 6250 Kg de tierras filtrantes.

Las tierras filtrantes tienen un costo entre:

4500 – 5500 Bs por 1000 Kg de tierra Hyflo

4700 – 5200 Bs por 1000 Kg de tierra Estándar

Por lo que la CBN Tarija gasta por encima de 30000 Bs por año (dato referencial) en tierras filtrantes en el proceso de filtración.

La cerveza se filtra aproximadamente entre -1 y 1°C debido a que a esta temperatura los complejos proteínicos y polifenoles se vuelven insolubles y es más fácil filtrarlos, si se filtraría a una temperatura más elevada se afecta a la estabilidad coloidal de la cerveza.

3.4.1 Descripción del filtro

El filtro usado para el proceso de filtración de la fábrica CBN Tarija es el modelo NF 8 Della Toffola. Es un filtro de discos horizontales que utiliza tierras diatomeas como medio filtrante.

Los filtros NF son perfectos para filtrar en grandes masas líquidas con bajas proporciones de sólidos suspendidos, ya que combinan tiempos de trabajo muy rápidos con excelentes resultados de filtración. Este tipo de filtros de tierras diatomeas emplean un sistema único que garantiza la integridad del panel del filtro incluso después de interrupciones accidentales de las operaciones. Todos los componentes del filtro están hechos de acero inoxidable AISI 304, mientras que las cajas de engranajes y los motores eléctricos están protegidos por un recubrimiento de epoxi antioxidante.

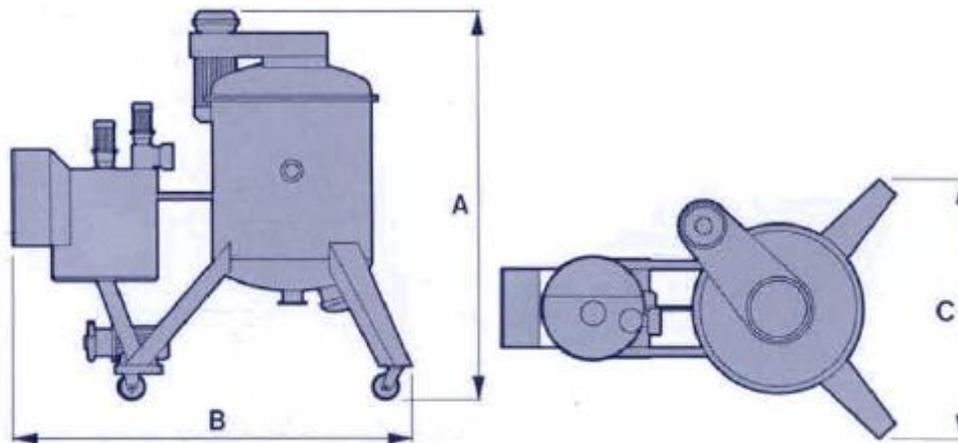
3.4.1.1 Características Técnicas Principales

- Estructura completa de acero inoxidable, incluso el chasis, la bomba, los grifos y los discos filtrantes.
- Bomba dosificadora de membrana de caudal variable, para dosificar la tierra.
- Todas las operaciones de mantenimiento normal y extraordinario se pueden llevar a cabo en poco tiempo y utilizando pocas herramientas y mano de obra.
- Si por cualquier motivo se interrumpe la filtración, la precapa no se desprende, ya que se forma solo en la parte superior de los discos horizontales.
- Filtración final del líquido residual con especiales discos internos (la filtración final puede ocurrir también por medio de un filtro externo, suministrado a petición del cliente).
- Al final de la filtración, el panel residual es evacuado en una bandeja especial, por medio de la simple rotación del eje portadiscos.
- La misma bomba usada para la filtración permite aclarar perfectamente los discos filtrantes, utilizando una cantidad mínima de agua.

- Los discos filtrantes no se desgastan, ya que para la descarga del panel residual no se transmiten vibraciones ni abrasiones.
- Durante la descarga, la campana no está sometida a ninguna presión.
- Permiten conseguir un producto final sin levaduras. Están completos con válvulas de flujo libre y medidor de caudal.
- El filtro cuenta con una superficie filtrante de aproximadamente 20 m^2 .
- La presión máxima de operación que puede soportar este filtro es de 5 bares.
- La cantidad máxima de tierras filtrantes que se puede introducir en el filtro es de aproximadamente 55 Kg.

Figura 3-4

Imagen del filtro



Fuente: NF filters filtri, 2017.

Tabla 3-6

Medidas del filtro

Modelo / Superficie filtrante	Potencia Instalada [KW]	A [mm]	B [mm]	C [mm]
NF 8	13,37	2200	2390	1330

Fuente: NF filters filtri, 2017.

CAPÍTULO IV
DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS
EXPERIMENTAL

Capítulo IV

Descripción y análisis experimental

4.1 Descripción del método de investigación

Como método de investigación se usaron pruebas preliminares para determinar la mejor estrategia de filtración.

Se realizó el diseño factorial para optimizar el proceso de filtración de CBN Tarija tomando en cuenta como variables:

- Relación de tierras std/hyflo [%/%]
- Caudal de dosificación de tierras filtrantes [l/h]
- Intervalo de dosificación [H]

A continuación, se muestra el diseño factorial que se planteó:

En el presente trabajo se realiza un diseño factorial, en el cual se tiene 3 factores, a 2 niveles cada uno, con 2 repeticiones.

Factor A: Relación std/hyflo

Factor B: Caudal de dosificación

Factor C: Intervalo de dosificación

$$N_{exp} = (N^{\circ} \text{ niveles FA} * N^{\circ} \text{ niveles FB} * N^{\circ} \text{ niveles FC}) * N^{\circ} \text{ repeticiones}$$

$$N_{exp} = (2 * 2 * 2) * 2 = 16$$

Se realizarán 16 experimentos elementales.

Tabla 4-4

FACTORES	NIVELES	
	ALTO (+)	BAJO (-)
Relación std/hyflo	40/60	20/80
Caudal Dosificación	420	336
Intervalo de dosificación	30	55

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-5

Plan de experimentación primera repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]	Factor C Intervalo de dosificación [HI]
1	20/80	336	30
2	40/60	336	30
3	20/80	420	30
4	40/60	420	30
5	20/80	336	55
6	40/60	336	55
7	20/80	420	55
8	40/60	420	55

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-6

Plan de experimentación segunda repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]	Factor C Intervalo de dosificación [HI]
1	20/80	336	30
2	40/60	336	30
3	20/80	420	30
4	40/60	420	30
5	20/80	336	55
6	40/60	336	55
7	20/80	420	55
8	40/60	420	55

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-7

Matriz de diseño primera repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]	Factor C Intervalo de dosificación [Hl]
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-8

Matriz de diseño segunda repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]	Factor C Intervalo de dosificación [Hl]
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Teniendo este primer diseño experimental, se realizó la primera experiencia que corresponde a la prueba #3:

Factor A: Relación std/hyflo = 20/80

Factor B: Caudal de dosificación = 420 l/h

Factor C: Intervalo de dosificación = 30 Hl

Al finalizar la prueba y analizar los resultados se llegó a las siguientes conclusiones:

- No existe una disminución en el consumo de tierras filtrantes.
- El caudal de filtración es muy bajo.
- El consumo de tierras filtrantes por volumen de cerveza filtrada aumentó en lugar de disminuir.
- El ciclo de filtración fue corto debido a que la diferencia de presión aumentó rápidamente.
- La estrategia usando intervalos de dosificación no es la adecuada.

En base a esto, llegamos a la conclusión de que se debe cambiar la estrategia de dosificación por intervalos a una estrategia de dosificación continua. Por lo tanto, se debe cambiar el diseño factorial.

4.2 Diseño factorial

En el presente trabajo se realiza un diseño factorial, en el cual se tiene 2 factores, a 2 niveles cada uno, con 3 repeticiones.

Factor A: Relación std/hyflo

Factor B: Caudal de dosificación

$$N_{exp} = (N^{\circ} \text{ niveles FA} * N^{\circ} \text{ niveles FB}) * N^{\circ} \text{ repeticiones}$$

$$N_{exp} = (2 * 2) * 3 = 12$$

Se realizarán 12 experimentos elementales.

Tabla 4-6

FACTORES	NIVELES	
	ALTO (+)	BAJO (-)
Relación std/hyflo	30/70	20/80
Caudal Dosificación	184,8	168

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-7

Plan de experimentación primera repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]
1	20/80	168
2	30/70	168
3	20/80	184.8
4	30/70	184.8

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-8

Plan de experimentación segunda repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]
1	20/80	168
2	30/70	168
3	20/80	184,8
4	30/70	184,8

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-9

Plan de experimentación tercera repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]
1	20/80	168
2	30/70	168
3	20/80	184,8
4	30/70	184,8

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-10

Matriz de diseño primera repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-11

Matriz de diseño segunda repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 4-12

Matriz de diseño tercera repetición

Prueba	Factor A Relación Std/Hyflo [%/%]	Factor B Caudal de dosificación [l/h]
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

4.3 Análisis de las variables

Se realizó un análisis para determinar la significancia de las variables consideradas en el diseño experimental para optimizar el proceso de filtración de la Planta CBN Tarija.

Figura 4-1

	Turbidez0	RelacionTierras	Caudaldisif	respuesta	ADJ_1	interaccion1	interaccion2	interaccion3	ADJ_2	var
1	9,90	-1,00	-1,00	103,06	72,12288	-9,90	1,00	-9,90	75,94874	
2	30,10	-1,00	-1,00	103,06	81,21077	-30,10	1,00	-30,10	79,60614	
3	7,90	-1,00	-1,00	77,13	73,16080	-7,90	1,00	-7,90	77,69942	
4	9,10	-1,00	-1,00	77,13	73,96463	-9,10	1,00	-9,10	78,76998	
5	11,30	-1,00	-1,00	77,13	75,39413	-11,30	1,00	-11,30	80,66928	
6	19,20	-1,00	-1,00	77,13	80,46312	-19,20	1,00	-19,20	88,44389	
7	10,40	-1,00	-1,00	75,53	74,95665	-10,40	1,00	-10,40	80,09724	
8	8,00	-1,00	-1,00	75,53	73,39659	-8,00	1,00	-8,00	78,07182	
9	12,30	-1,00	-1,00	75,53	76,16282	-12,30	1,00	-12,30	81,69438	
10	12,50	-1,00	-1,00	75,53	76,28915	-12,50	1,00	-12,50	81,86559	
11	10,40	1,00	-1,00	74,82	75,92329	10,40	-1,00	-10,40	72,99806	
12	8,00	1,00	-1,00	74,82	74,39717	8,00	-1,00	-8,00	72,70102	
13	12,30	1,00	-1,00	74,82	77,11330	12,30	-1,00	-12,30	73,15530	
14	12,50	1,00	-1,00	74,82	77,23845	12,50	-1,00	-12,50	73,16885	
15	15,90	1,00	-1,00	71,77	79,63210	15,90	-1,00	-15,90	73,66900	
16	20,70	1,00	-1,00	71,77	83,00540	20,70	-1,00	-20,70	74,22599	
17	17,70	1,00	-1,00	71,77	80,83905	17,70	-1,00	-17,70	73,82020	
18	14,60	1,00	-1,00	71,77	78,79113	14,60	-1,00	-14,60	73,58984	
19	13,80	1,00	-1,00	73,70	78,13837	13,80	-1,00	-13,80	73,35778	
20	9,70	1,00	-1,00	73,70	75,57883	9,70	-1,00	-9,70	73,12547	
21	20,40	1,00	-1,00	73,70	82,56615	20,40	-1,00	-20,40	73,66565	
22	14,00	-1,00	1,00	85,19	90,88985	-14,00	-1,00	14,00	85,54378	
23	15,80	-1,00	1,00	85,19	91,99993	-15,80	-1,00	15,80	87,60171	
24	26,70	-1,00	1,00	85,19	99,97288	-26,70	-1,00	26,70	103,39706	

Fuente: Programa informático SPSS,2017.

Figura 4-2

25	18,90	-1,00	1,00	85,19	93,98963	-18,90	-1,00	18,90	91,21767
26	21,30	-1,00	1,00	103,05	94,07023	-21,30	-1,00	21,30	91,93778
27	21,10	-1,00	1,00	103,05	93,96636	-21,10	-1,00	21,10	91,73784
28	25,60	-1,00	1,00	103,05	96,51321	-25,60	-1,00	25,60	96,35099
29	15,50	-1,00	1,00	103,05	90,63442	-15,50	-1,00	15,50	85,75076
30	12,70	-1,00	1,00	78,04	90,61931	-12,70	-1,00	12,70	84,79546
31	7,40	-1,00	1,00	78,04	87,68939	-7,40	-1,00	7,40	78,66625
32	7,80	-1,00	1,00	78,04	87,90570	-7,80	-1,00	7,80	79,17899
33	5,50	-1,00	1,00	78,04	86,66112	-5,50	-1,00	5,50	76,01016
34	19,50	-1,00	1,00	78,04	94,93340	-19,50	-1,00	19,50	92,68494
35	14,60	1,00	1,00	188,82	82,57763	14,60	1,00	14,60	85,21406
36	20,40	1,00	1,00	81,01	96,65641	20,40	1,00	20,40	104,20789
37	8,70	1,00	1,00	81,01	89,21209	8,70	1,00	8,70	100,08145
38	6,70	1,00	1,00	81,01	88,04856	6,70	1,00	6,70	100,60952
39	18,10	1,00	1,00	81,01	95,00331	18,10	1,00	18,10	102,36502
40	6,70	1,00	1,00	81,01	88,04856	6,70	1,00	6,70	100,60952
41	29,80	1,00	1,00	96,17	101,78483	29,80	1,00	29,80	110,85992
42	14,20	1,00	1,00	96,17	91,03340	14,20	1,00	14,20	98,32852

Vista de datos Vista de variables SPSS Statistics El procesador está listo

Fuente: Programa informático SPSS,2017.

Los resultados son:

Figura 4-3

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2767,917	3	922,639	2,775	,054 ^a
	Residual	12635,494	38	332,513		
	Total	15403,411	41			

a. Variables predictoras: (Constante), CaudalDOSIF, RelacionTIERRAS, Turbidez0
b. Variable dependiente: respuesta

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	76,045	7,290		10,431	,000	61,287	90,803
	Turbidez0	,585	,457	,191	1,280	,208	-,340	1,510
	RelacionTIERRAS	,418	2,856	,022	,146	,884	-5,364	6,200
	CaudalDOSIF	6,708	2,883	,350	2,327	,025	,871	12,545

a. Variable dependiente: respuesta

Fuente: Programa informático SPSS,2017.

Como se puede ver, la significancia de las variables está en el siguiente orden (de mayor a menor):

1: Caudal de dosificación de Tierras filtrantes

2: Turbidez inicial

3: Relación de Tierras filtrantes

También se realizó un análisis de la interacción de las variables:

Interacción 1: Turbidez inicial y Relación de Tierras filtrantes

Interacción 2: Relación de Tierras filtrantes y Caudal de dosificación

Interacción 3: Turbidez inicial y Caudal de dosificación

Figura 4-4

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4016,091	6	669,349	2,057	,084 ^a
	Residual	11387,320	35	325,352		
	Total	15403,411	41			

a. Variables predictoras: (Constante), Caudaldosif, interaccion2, RelacionTierras, Turbidez0, interaccion1, interaccion3

b. Variable dependiente: respuesta

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	77,132	7,513		10,267	,000	61,880	92,384
interaccion1	-,371	,471	-,308	-,788	,436	-1,328	,585
interaccion2	5,372	2,868	,278	1,873	,069	-,450	11,194
interaccion3	,135	,474	,113	,285	,777	-,827	1,098

Fuente: Programa informatico SPSS,2017.

Como se puede ver, la interacción 2 es la que influye más en la variable respuesta y es la que se escogió para el diseño experimental.

Además, se puede justificar que no se usó la turbidez de la cerveza a filtrar como variable en el diseño experimental porque es algo que no se puede controlar, ya que depende de muchos factores y siempre es distinta para cada cerveza a filtrar; además en los datos que se presentan en el capítulo VI el recuento celular de la cerveza a filtrar no supera los 9 millones de células.

CAPÍTULO V
DESARROLLO DEL PROCESO

Capítulo V

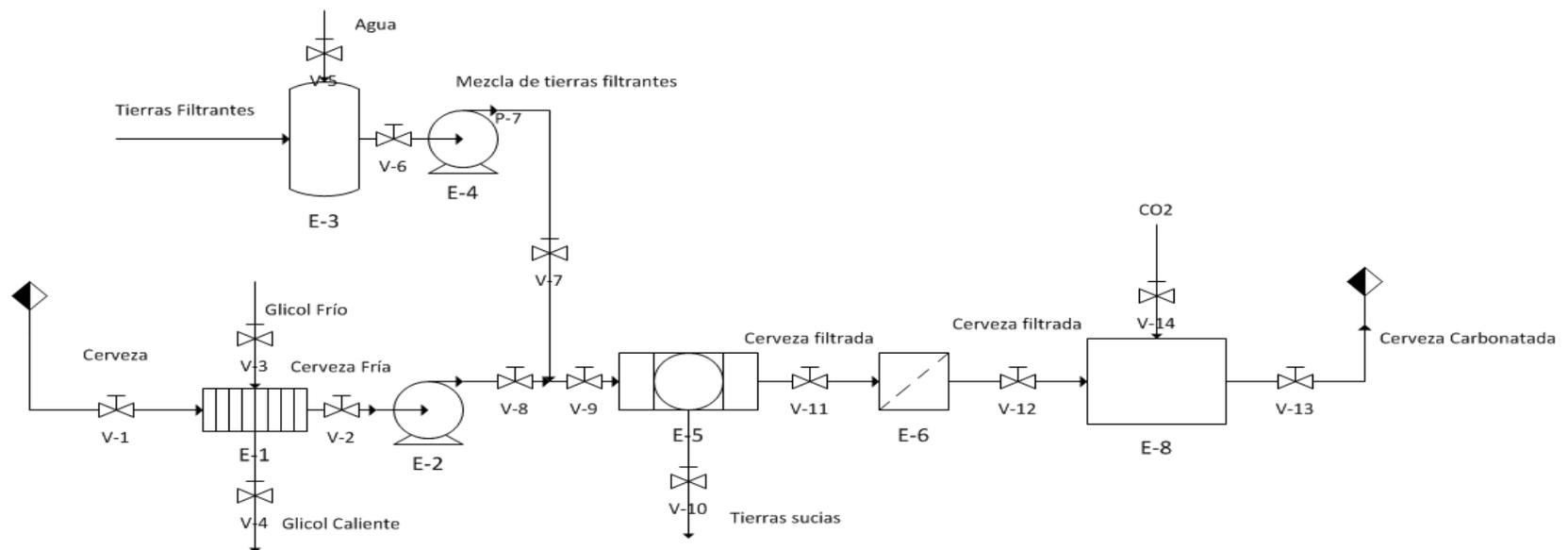
Desarrollo del Proceso

5.1 Diagrama de flujo del Proceso

El diagrama de flujo para el proceso de filtración en la fabricación de cerveza es el que se muestra a continuación:

Diagrama 3

Diagrama de flujo del proceso



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la siguiente tabla, se muestran los códigos de los equipos presentados en el diagrama, con su descripción respectiva

Tabla 5-9.

Nomenclatura	Equipo
E-1	Enfriador de placas
E-2	Bomba pistón
E-3	Tanque de tierras
E-4	Bomba centrífuga
E-5	Filtro KG
E-6	Filtro Trap
E-8	Carbonatador
V 1-14	Válvulas mariposa

Fuente: Elaboración propia, 2017.

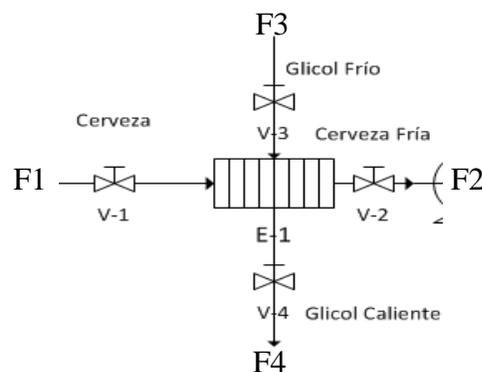
5.2 Balance de Materia y Energía

5.2.1 Balance de Materia

El balance de materia para el proceso de filtración de la Fábrica CBN Tarija se realizará con una base de cálculo correspondiente a la cantidad de cerveza filtrada en una semana que tiene un valor aproximado de 1100 HI (dato referencial).

5.2.1.1 Balance en el intercambiador de placas

Figura 5-5



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el intercambiador de placas se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-1, que es extraída del diagrama de flujo principal.

En esta etapa la cerveza es enfriada por el glicol, no se consideran pérdidas, ya que tanto la cantidad de cerveza que entra al intercambiador como la cantidad de glicol son iguales a las cantidades que salen.

F1= Cerveza

F2= Cerveza fría

F3= Glicol frío

F4= Glicol caliente

El balance general es:

$$F1=F2$$

Entonces:

$$F1=F2=1100\text{HI}$$

$$F3=F4=\text{Cantidad de glicol}$$

Determinaremos la cantidad de glicol con la ayuda de un balance de energía, con los siguientes datos:

$$T_{\text{cerveza caliente}}: 3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{cerveza fría}}: 1,18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol frío}}: -1,32^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol caliente}}: 2,40^{\circ}\text{C}$$

Usamos la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$m_{\text{Cerveza}} C_{p_{\text{Cerveza}}} \Delta T_{\text{Cerveza}} = m_{\text{Glicol}} C_{p_{\text{Glicol}}} \Delta T_{\text{Glicol}}$$

$$m_{\text{Glicol}} = \frac{m_{\text{Cerveza}} C_{p_{\text{Cerveza}}} \Delta T_{\text{Cerveza}}}{C_{p_{\text{Glicol}}} \Delta T_{\text{Glicol}}}$$

Calculamos la masa de cerveza correspondiente a 1100 HI:

Considerando la densidad de la cerveza = 100,57 Kg/Hl

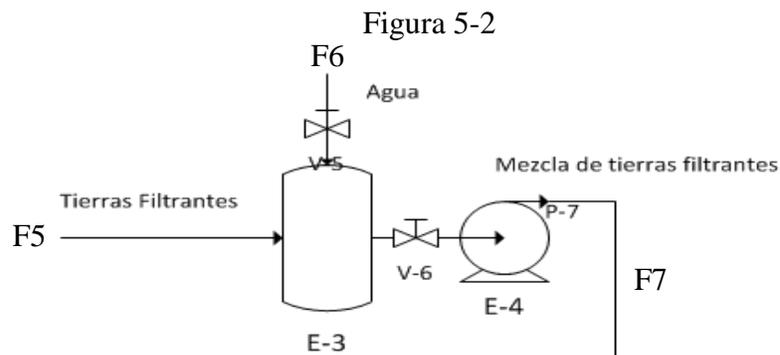
$$m_{Cerveza} = 100,57 \frac{Kg}{Hl} * 1100Hl = 110627 Kg \text{ de cerveza}$$

$$m_{Glicol} = \frac{110627 Kg * 3,77 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * (3 - 1,18)^{\circ}C}{2,41 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * (2,40 - (-1,32))^{\circ}C} = 84666,94 Kg \text{ de glicol}$$

Con la densidad del glicol obtenemos el volumen de glicol utilizado en el enfriador de placas:

$$F3 = F4 = \frac{84666,94 Kg}{111,6 \frac{Kg}{Hl}} = 758,66 Hl \text{ de glicol}$$

5.2.1.2 Balance en el tanque de tierras



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el tanque de tierras se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-2, que es extraída del diagrama de flujo principal.

En esta etapa se introducen las tierras filtrantes al tanque y se mezclan con agua para luego ser dosificadas a la línea de cerveza que va al filtro.

F5= Tierras filtrantes

F6= Agua

F7= Mezcla de tierras filtrantes

El balance general es:

$$F5+F6=F7$$

Se tiene la relación de tierras filtrantes y volumen de cerveza filtrada de: 125 g/Hl.

Entonces podemos calcular:

$$F5 \text{ en masa} = 125 \text{ g/Hl} * 1100 \text{ Hl} = 137500 \text{ g}$$

Se tiene la relación para tierras filtrantes de: 0,3 g/ml

$$F5 = 137500 \text{ g} \frac{\text{ml}}{0,3 \text{ g}} = 458333,33 \text{ ml} = 458,33 \text{ l} = 4,583 \text{ Hl}$$

Para calcular la cantidad de mezcla de tierras filtrantes, se necesitan los siguientes datos:

El tanque de tierras filtrantes es un tanque cilíndrico cuyas dimensiones son:

$$\text{Diámetro} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 0,64 \text{ m}$$

Entonces calculamos su volumen

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0,1809 \text{ m}^3 = 180,9 \text{ L} = 1,809 \text{ Hl}$$

Se tiene la relación de 1,809 Hl/ 40 Hl de cerveza, entonces calculamos para 1100 Hl:

$$F7 = 1,809 \text{ Hl} / 40 \text{ Hl de cerveza} * 1100 \text{ Hl de cerveza} = 49,7475 \text{ Hl de mezcla de tierras filtrantes}$$

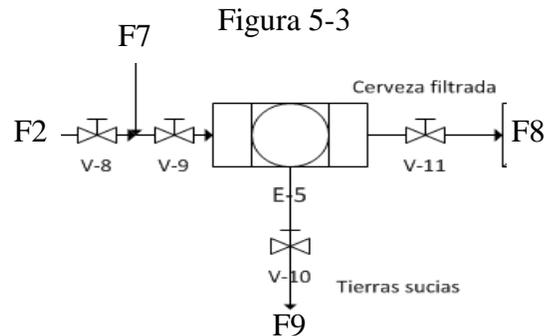
Entonces con esto calculamos la cantidad de agua que se mezcla con las tierras filtrantes para ser dosificadas a la línea de cerveza.

Del balance general:

$$F6 = F7 - F5$$

$$F6 = 49,7475 \text{ Hl} - 4,583 \text{ Hl} = 45,164 \text{ Hl de agua}$$

5.2.1.3 Balance en el filtro KG



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el filtro KG se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-3, que es extraída del diagrama de flujo principal.

La cerveza fría se combina con la mezcla de tierras filtrantes para ser introducidas al filtro KG de donde se obtiene principalmente la cerveza filtrada y como descarte las tierras sucias (húmedas) al final de cada ciclo.

F2= Cerveza fría

F7= Mezcla de tierras filtrantes

F8= Cerveza filtrada

F9= Tierras sucias

El balance general es:

$$F2+F7=F8+F9$$

Balance secundario:

$$F9=V_{\text{Tierras filtrantes}}+V_{\text{Agua}}$$

En el descarte de tierras sucias se asume que la cantidad de tierras que entra es igual a la que sale, por lo tanto, no hay pérdidas; sin embargo, las tierras salen con un porcentaje de humedad por lo que en ensayos se determinó dicha humedad.

Se determinó la relación: 1.89 g Agua/g Tierras filtrantes

Entonces se puede calcular la cantidad de agua que sale del filtro con las tierras filtrantes:

$$m_{\text{agua}} = 1,89 \frac{\text{g Agua}}{\text{g Tierras}} * 137500 \text{ g Tierras}$$

$$= 259875 \text{ g Agua que sale en la descarga de tierras del filtro}$$

Con la densidad del agua de: 1 g/ml podemos decir que:

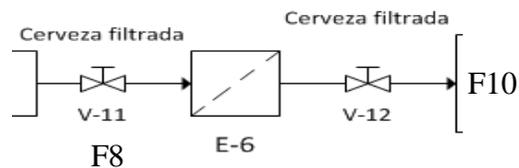
$$V_{\text{Agua}} = \frac{259875 \text{ g}}{1 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 259875 \text{ ml de agua} = 259,875 \text{ l} = 2,59875 \text{ Hl}$$

$$F9 = 4,583 + 2,5987 = 7,1817 \text{ Hl}$$

$$F8 = F2 + F7 - F9 = 1100 + 49,7475 - 7,1817 = 1142,56 \text{ Hl}$$

5.2.1.4 Balance en el filtro trap

Figura 5-4



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el filtro Trap se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-4, que es extraída del diagrama de flujo principal.

La cerveza filtrada pasa por el filtro trap para ser conducida al carbonatador, en esta etapa no se considera pérdida.

F8= Cerveza filtrada

F10= Cerveza salida del filtro trap

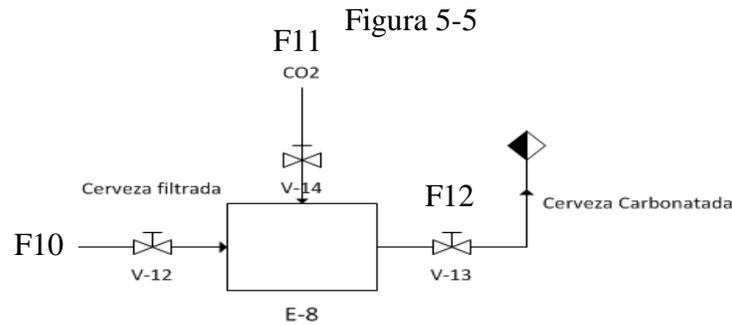
El balance general es:

$$F8=F10$$

Entonces:

$$F8=F10=1142,56 \text{ Hl}$$

5.2.1.5 Balance en el carbonatador



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el carbonatador se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-5, que es extraída del diagrama de flujo principal.

La cerveza filtrada entra al carbonatador y se introduce CO_2 que carbonata la bebida, la cerveza carbonatada es conducida luego a la medidora.

F10= Cerveza salida del filtro trap

F11= CO_2 (en masa)

F12= Cerveza Carbonatada

El balance en masa para el CO_2 es:

$$F11 = F12X_{12} - F10X_{10}$$

Donde:

X_{10} =Cantidad de CO_2 en F10=3,146 g/l=314,6 g/Hl

X_{12} =Cantidad de CO_2 en F12=5,57 g/l=557 g/Hl

$$\begin{aligned} F11 &= 1142,56 \text{ Hl} * 557 \frac{\text{g}}{\text{Hl}} - 1142,56 * 314,6 \frac{\text{g}}{\text{Hl}} = 276956,54 \text{ g } \text{CO}_2 \\ &= 276,96 \text{ Kg } \text{CO}_2 \end{aligned}$$

5.2.2 Balance de Energía

5.2.2.1 Balance en el intercambiado de placas

Teniendo los siguientes datos calculamos el calor cedido por la cerveza y el calor ganado por el glicol.

$$T_{\text{cerveza caliente}}: 3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{cerveza fría}}: 1,18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol frío}}: -1,32^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol caliente}}: 2,40^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p\text{Cerveza}} = 3,77 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p\text{Glicol}} = 2,41 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{Cerveza}} = 100,57 \text{ Kg/Hl}$$

$$P_{\text{Glicol}} = 111,6 \text{ Kg/Hl}$$

$$V_{\text{Cerveza}} = 1100 \text{ Hl}$$

$$V_{\text{Glicol}} = 758,66 \text{ Hl}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Calculamos la masa de cerveza para luego calcular el calor cedido.

$$m_{\text{Cerveza}} = 100,57 \frac{\text{Kg}}{\text{Hl}} * 1100 \text{ Hl} = 110627 \text{ Kg de cerveza}$$

$$Q_{\text{cedido}} = m_{\text{Cerveza}} C_{p\text{Cerveza}} \Delta T_{\text{Cerveza}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = 110627 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (3 - 1,18)^{\circ}\text{C} = 759056,09 \text{ Kj}$$

Calculamos la masa de glicol para luego calcular el calor ganado.

$$m_{\text{Glicol}} = 111,6 \frac{\text{Kg}}{\text{Hl}} * 758,66 \text{ Hl} = 84666,46 \text{ Kg de glicol}$$

$$Q_{\text{Ganado}} = m_{\text{Glicol}} C_{p\text{Glicol}} \Delta T_{\text{Glicol}}$$

$$Q_{\text{Ganado}} = 84666,46 \text{ Kg} * 2,41 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (2,40 - (-1,32))^{\circ}\text{C} = 759051,71 \text{ Kj}$$

5.2.2.2 Balance Global: Desde la entrada al filtro KG hasta la entrada al tanque BBT

Se realiza el balance entálpico desde la entrada al filtro KG, donde ingresan las corrientes de agua y cerveza; hasta la entrada al tanque BBT:

Tenemos la siguiente ecuación:

$$m_{agua}Cp_{agua}T_{agua} + m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}T_{Cerveza} = m_{Mezcla}Cp_{Mezcla}T_{Mezcla}$$

Desarrollando cada uno:

$$m_{agua}Cp_{agua}T_{agua} = 4516,4 \text{ Kg} * 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 43^{\circ}\text{C} = 812554,56 \text{ Kj}$$

$$m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}T_{Cerveza} = 110627 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 2,02^{\circ}\text{C} = 842468,86 \text{ Kj}$$

La masa de la mezcla sería:

$$m_{Mezcla} = m_{agua} + m_{Cerveza} = 4516,4 \text{ Kg} + 110627 \text{ Kg} = 115143,4 \text{ Kg}$$

La capacidad calorífica de la mezcla sería:

$$Cp_{Mezcla} = \frac{m_{agua}Cp_{agua} + m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}}{m_{Mezcla}}$$

$$= \frac{4516,4 \text{ Kg} * 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} + 110627 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}}{115143,4 \text{ Kg}} = 3,786 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

Entonces calculamos:

$$m_{Mezcla}Cp_{Mezcla}T_{Mezcla} = 115143,4 \text{ Kg} * 3,786 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 3,8^{\circ}\text{C} = 1656545,067 \text{ Kj}$$

Ahora verificamos si se cumple la igualdad:

$$m_{agua}Cp_{agua}T_{agua} + m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}T_{Cerveza} = m_{Mezcla}Cp_{Mezcla}T_{Mezcla}$$

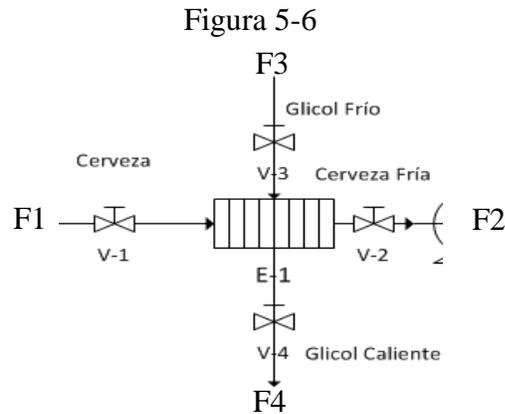
$$812554,56 \text{ Kj} + 842468,86 \text{ Kj} = 1655023,42 \text{ Kj}$$

$$1655023,42 \text{ Kj} \approx 1656545,067 \text{ Kj}$$

5.2.3 Balance de Materia para un ciclo de filtración

El balance de materia en este caso se realizará para un ciclo de filtración, que corresponde a aproximadamente 450 HI de cerveza filtrada (Este valor fue obtenido del promedio de volumen de cerveza filtrada en las pruebas realizadas).

5.2.3.1 Balance en el intercambiador de placas



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el intercambiador de placas se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-6, que es extraída del diagrama de flujo principal.

En esta etapa la cerveza es enfriada por el glicol, no se considera pérdida, ya que tanto la cantidad de cerveza que entra al intercambiador como la cantidad de glicol son iguales a las cantidades que salen.

F1= Cerveza

F2= Cerveza fría

F3= Glicol frío

F4= Glicol caliente

El balance general es:

$$F1=F2$$

Entonces:

$$F1=F2=450 \text{ Hl}$$

$$F3=F4=\text{Cantidad de glicol}$$

Determinaremos la cantidad de glicol con la ayuda de un balance de energía, con los siguientes datos:

$$T_{\text{cerveza caliente}}: 3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{cerveza fría}}: 1,18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol frío}}: -1,32^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol caliente}}: 2,40^{\circ}\text{C}$$

Usamos la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

$$m_{\text{Cerveza}} C_{p_{\text{Cerveza}}} \Delta T_{\text{Cerveza}} = m_{\text{Glicol}} C_{p_{\text{Glicol}}} \Delta T_{\text{Glicol}}$$

$$m_{\text{Glicol}} = \frac{m_{\text{Cerveza}} C_{p_{\text{Cerveza}}} \Delta T_{\text{Cerveza}}}{C_{p_{\text{Glicol}}} \Delta T_{\text{Glicol}}}$$

Calculamos la masa de cerveza correspondiente a 450 Hl:

Considerando la densidad de la cerveza = 100,57 Kg/Hl

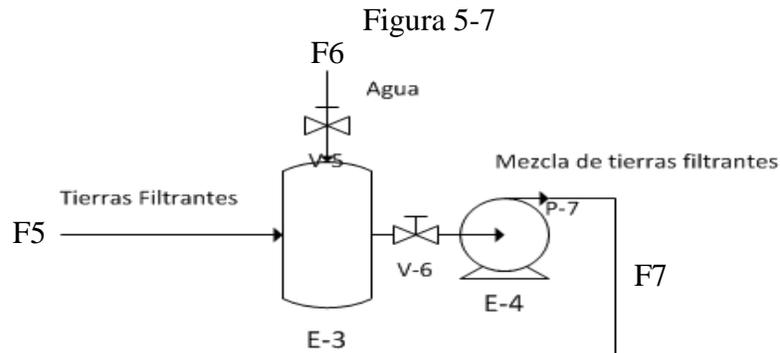
$$m_{\text{Cerveza}} = 100,57 \frac{\text{Kg}}{\text{Hl}} * 450 \text{ Hl} = 45256,5 \text{ Kg de cerveza}$$

$$m_{\text{Glicol}} = \frac{45256,5 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (3 - 1,18)^{\circ}\text{C}}{2,41 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (2,40 - (-1,32))^{\circ}\text{C}} = 34636,48 \text{ Kg de glicol}$$

Con la densidad del glicol obtenemos el volumen de glicol utilizado en el enfriador de placas:

$$F3 = F4 = \frac{34636,48 \text{ Kg}}{111,6 \frac{\text{Kg}}{\text{Hl}}} = 310,36 \text{ Hl de glicol}$$

5.2.3.2 Balance en el tanque de tierras



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el tanque de tierras se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-7, que es extraída del diagrama de flujo principal.

En esta etapa se introducen las tierras filtrantes al tanque y se mezclan con agua para luego ser dosificadas a la línea de cerveza que va al filtro.

F5= Tierras filtrantes

F6= Agua

F7= Mezcla de tierras filtrantes

El balance general es:

$$F5 + F6 = F7$$

Se tiene la relación de tierras filtrantes y volumen de cerveza filtrada de: 125 g/Hl.

Entonces podemos calcular:

$$F5 \text{ en masa} = 125 \text{ g/Hl} \cdot 450 \text{ Hl} = 56250 \text{ g}$$

Se tiene la relación para tierras filtrantes de: 0,3 g/ml

$$F5 = 56250 \text{ g} \frac{\text{ml}}{0,3 \text{ g}} = 187500 \text{ ml} = 187,5 \text{ l} = 1,875 \text{ Hl}$$

Para calcular la cantidad de mezcla de tierras filtrantes, se necesitan los siguientes datos:

El tanque de tierras filtrantes es un tanque cilíndrico cuyas dimensiones son:

$$\text{Diámetro} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 0,64 \text{ m}$$

Entonces calculamos su volumen

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{cilindro} = 0,1809 \text{ m}^3 = 180,9 \text{ L} = 1,809 \text{ Hl}$$

Se tiene la relación de 1,809 Hl/ 40 Hl de cerveza, entonces calculamos para 450 Hl:

$$F7 = 1,809 \text{ Hl} / 40 \text{ Hl de cerveza} * 450 \text{ Hl de cerveza} = 20,35 \text{ Hl de mezcla de tierras filtrantes}$$

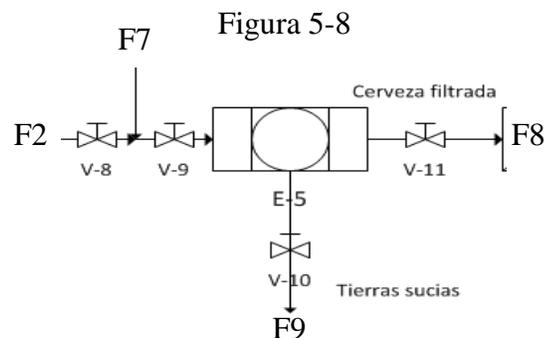
Entonces con esto calculamos la cantidad de agua que se mezcla con las tierras filtrantes para ser dosificadas a la línea de cerveza.

Del balance general:

$$F6 = F7 - F5$$

$$F6 = 20,35 \text{ Hl} - 1,875 \text{ Hl} = 18,48 \text{ Hl de agua}$$

5.2.3.3 Balance en el filtro KG



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el filtro KG se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-8, que es extraída del diagrama de flujo principal.

La cerveza fría se combina con la mezcla de tierras filtrantes para ser introducidas al filtro KG de donde se obtiene principalmente la cerveza filtrada y como descarte las tierras sucias (húmedas) al final de cada ciclo.

F2= Cerveza fría

F7= Mezcla de tierras filtrantes

F8= Cerveza filtrada

F9= Tierras sucias

El balance general es:

$$F2+F7=F8+F9$$

Balance secundario:

$$F9=V_{\text{Tierras filtrantes}}+V_{\text{Agua}}$$

En el descarte de tierras sucias se asume que la cantidad de tierras que entra es igual a la que sale; por lo tanto, no hay pérdidas, sin embargo, las tierras salen con un porcentaje de humedad por lo que en ensayos se determinó dicha humedad.

Se determinó la relación: 1.89 g Agua/g Tierras filtrantes

Entonces se puede calcular la cantidad de agua que sale del filtro con las tierras filtrantes:

$$\begin{aligned} m_{\text{agua}} &= 1,89 \frac{\text{g Agua}}{\text{g Tierras}} * 56250 \text{ g Tierras} \\ &= 106312,5 \text{ g Agua que sale en la descarga de tierras del filtro} \end{aligned}$$

Con la densidad del agua de: 1 g/ml podemos decir que:

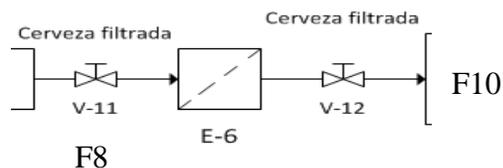
$$V_{\text{Agua}} = \frac{106312,5 \text{ g}}{1 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 106312,5 \text{ ml de agua} = 106,3125 \text{ l} = 1,063 \text{ Hl}$$

$$F9 = 1,875 + 1,063 = 2,398 \text{ Hl}$$

$$F8 = F2 + F7 - F9 = 450 + 20,35 - 2,398 = 467,952 \text{ Hl}$$

5.2.3.4 Balance en el filtro trap

Figura 5-9



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el filtro Trap se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-9, que es extraída del diagrama de flujo principal.

La cerveza filtrada pasa por el filtro trap para ser conducida al carbonatador, en esta etapa no se consideran pérdidas.

F8= Cerveza filtrada

F10= Cerveza salida del filtro trap

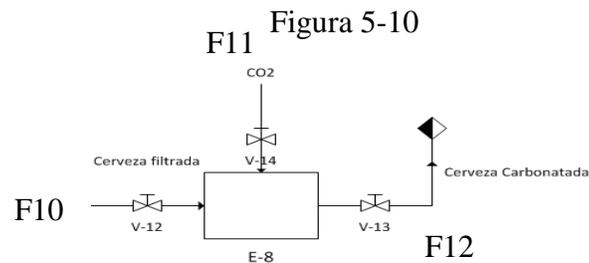
El balance general es:

$$F8=F10$$

Entonces:

$$F8=F10=467,952 \text{ HI}$$

5.2.3.5 Balance en el carbonatador



Fuente: Elaboración propia, 2017.

El balance para el carbonatador se realiza en las corrientes mostradas en la figura 5-5, que es extraída del diagrama de flujo principal.

La cerveza filtrada entra al carbonatador y se introduce CO_2 que carbonata la bebida, la cerveza carbonatada es conducida luego a la medidora.

F10= Cerveza salida del filtro trap

F11= CO_2 (en masa)

F12= Cerveza Carbonatada

El balance en masa para el CO_2 es:

$$F11=F12X_{12}- F10X_{10}$$

Donde:

X_{10} =Cantidad de CO_2 en F10=3,146 g/l=314,6 g/HI

X_{12} =Cantidad de CO_2 en F12=5,57 g/l=557 g/HI

$$\begin{aligned} F11 &= 467,952 * 557 \frac{\text{g}}{\text{HI}} - 467,952 * 314,6 \frac{\text{g}}{\text{HI}} = 113431,56 \text{ g } \text{CO}_2 \\ &= 113,43 \text{ Kg } \text{CO}_2 \end{aligned}$$

5.2.4 Balance de Energía

5.2.4.1 Balance en el intercambiado de placas

Teniendo los siguientes datos calculamos el calor cedido por la cerveza y el calor ganado por el glicol.

$$T_{\text{cerveza caliente}}: 3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{cerveza fría}}: 1,18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol frío}}: -1,32^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Glicol caliente}}: 2,40^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p\text{Cerveza}} = 3,77 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p\text{Glicol}} = 2,41 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{Cerveza}} = 100,57 \text{ Kg/Hl}$$

$$P_{\text{Glicol}} = 111,6 \text{ Kg/Hl}$$

$$V_{\text{Cerveza}} = 450 \text{ Hl}$$

$$V_{\text{Glicol}} = 310,36 \text{ Hl}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Calculamos la masa de cerveza para luego calcular el calor cedido.

$$m_{\text{Cerveza}} = 100,57 \frac{\text{Kg}}{\text{Hl}} * 450 \text{ Hl} = 45256,5 \text{ Kg de cerveza}$$

$$Q_{\text{cedido}} = m_{\text{Cerveza}} C_{p\text{Cerveza}} \Delta T_{\text{Cerveza}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = 45256,5 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (3 - 1,18)^{\circ}\text{C} = 310522,95 \text{ Kj}$$

Calculamos la masa de glicol para luego calcular el calor ganado.

$$m_{\text{Glicol}} = 111,6 \frac{\text{Kg}}{\text{Hl}} * 310,36 \text{ Hl} = 34636,176 \text{ Kg de glicol}$$

$$Q_{\text{Ganado}} = m_{\text{Glicol}} C_{p\text{Glicol}} \Delta T_{\text{Glicol}}$$

$$Q_{\text{Ganado}} = 34636,176 \text{ Kg} * 2,41 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * (2,40 - (-1,32))^{\circ}\text{C} = 310520,245 \text{ Kj}$$

5.2.4.2 Balance Global: Desde la entrada al filtro KG hasta la entrada al tanque BBT

Se realiza el balance entálpico desde la entrada al filtro KG, donde ingresan las corrientes de agua y cerveza, hasta la entrada al tanque BBT:

Tenemos la siguiente ecuación:

$$m_{agua}Cp_{agua}T_{agua} + m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}T_{Cerveza} = m_{Mezcla}Cp_{Mezcla}T_{Mezcla}$$

Desarrollando cada uno:

$$m_{agua}Cp_{agua}T_{agua} = 1848 \text{ Kg} * 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 43^{\circ}\text{C} = 332477,376 \text{ Kj}$$

$$m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}T_{Cerveza} = 45256,5 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 2,02^{\circ}\text{C} = 344646,35 \text{ Kj}$$

La masa de la mezcla sería:

$$m_{Mezcla} = m_{agua} + m_{Cerveza} = 1848 \text{ Kg} + 45256,5 \text{ Kg} = 47104,5 \text{ Kg}$$

La capacidad calorífica de la mezcla sería:

$$Cp_{Mezcla} = \frac{m_{agua}Cp_{agua} + m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}}{m_{Mezcla}}$$

$$= \frac{1848 \text{ Kg} * 4,184 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} + 45256,5 \text{ Kg} * 3,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}}{47104,5 \text{ Kg}} = 3,786 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}$$

Entonces calculamos:

$$m_{Mezcla}Cp_{Mezcla}T_{Mezcla} = 47104,5 \text{ Kg} * 3,786 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} * 3,8^{\circ}\text{C} = 677726,34 \text{ Kj}$$

Ahora verificamos si se cumple la igualdad:

$$m_{agua}Cp_{agua}T_{agua} + m_{Cerveza}Cp_{Cerveza}T_{Cerveza} = m_{Mezcla}Cp_{Mezcla}T_{Mezcla}$$

$$332477,376 \text{ Kj} + 344646,35 \text{ Kj} = 677123,726 \text{ Kj}$$

$$677123,726 \text{ Kj} \approx 677726,34 \text{ Kj}$$

CAPÍTULO VI
RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS

Capítulo VI

Resultados de las experiencias

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

6.1 Prueba 1

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 20/80

Caudal de dosificación: 168 l/h

Dosificación: continua

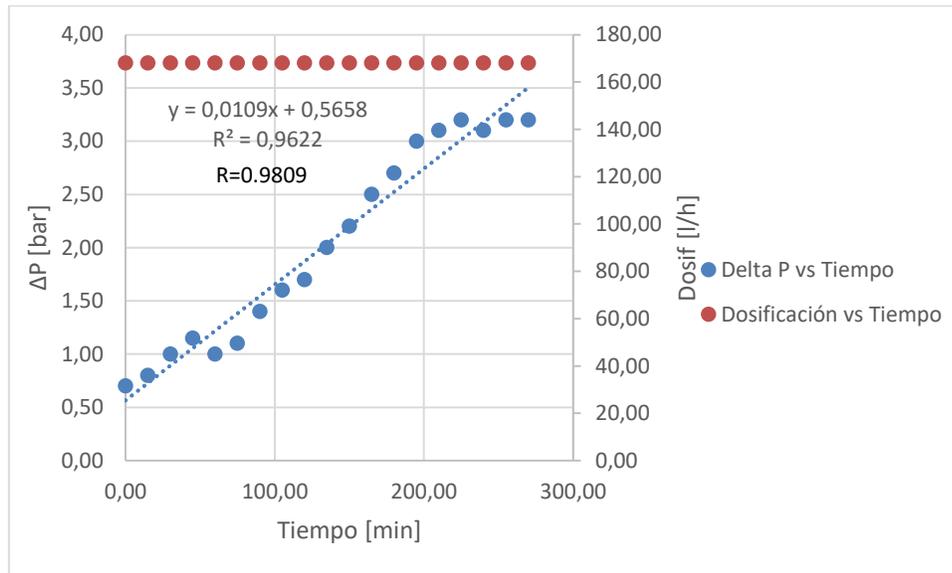
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 457 HI y una turbidez media de 0,40 ebc:

Tabla 6-10

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM2	1,60	9,90	1,40	0,70	0,70	0,00	168,00	0,40	457
			1,20	0,40	0,80	15,00	168,00		
			1,40	0,40	1,00	30,00	168,00		
			1,50	0,35	1,15	45,00	168,00		
			1,70	0,70	1,00	60,00	168,00		
TM19	9,60	30,10	1,90	0,80	1,10	75,00	168,00		
			1,90	0,50	1,40	90,00	168,00		
			2,00	0,40	1,60	105,00	168,00		
			2,50	0,80	1,70	120,00	168,00		
			2,80	0,80	2,00	135,00	168,00		
			3,00	0,80	2,20	150,00	168,00		
			3,10	0,60	2,50	165,00	168,00		
			3,20	0,50	2,70	180,00	168,00		
			3,50	0,50	3,00	195,00	168,00		
			3,90	0,80	3,10	210,00	168,00		
			4,00	0,80	3,20	225,00	168,00		
			4,10	1,00	3,10	240,00	168,00		
			4,30	1,10	3,20	255,00	168,00		
			4,20	1,00	3,20	270,00	168,00		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-6



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

En esta prueba no se pudo filtrar un mayor volumen de cerveza debido a que la diferencia de presión en el filtro aumentó, provocando que el caudal de filtración disminuya, esto debido a la turbidez elevada de tanque TM19 que se filtró, impidiendo que tengamos el ahorro de tierras deseado.

6.1.1 Primera réplica de la prueba 1

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 20/80

Caudal de dosificación: 168 l/h

Dosificación: continua

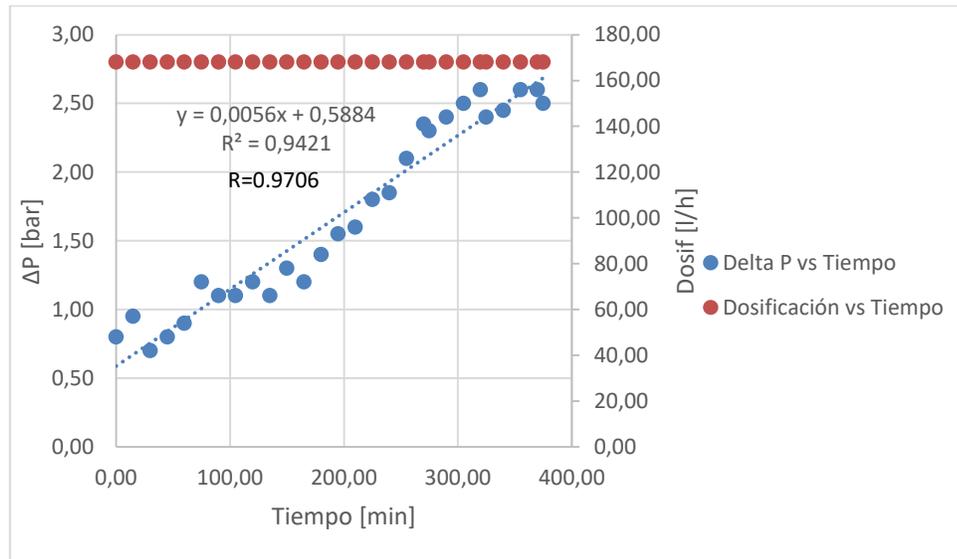
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 621 HI y una turbidez media de 0,56 ebc:

Tabla 6-2

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM2	1,80	7,90	2,00	1,20	0,80	0,00	168,00	0,56	621
			1,90	0,95	0,95	15,00	168,00		
			1,40	0,70	0,70	30,00	168,00		
			1,40	0,60	0,80	45,00	168,00		
			1,40	0,50	0,90	60,00	168,00		
			1,60	0,40	1,20	75,00	168,00		
TM3	1,60	9,10	1,50	0,40	1,10	90,00	168,00		
			1,50	0,40	1,10	105,00	168,00		
			1,80	0,60	1,20	120,00	168,00		
			1,90	0,80	1,10	135,00	168,00		
TM19	3,60	11,30	2,10	0,80	1,30	150,00	168,00		
			2,30	1,10	1,20	165,00	168,00		
			1,80	0,40	1,40	180,00	168,00		
			2,00	0,45	1,55	195,00	168,00		
			2,60	1,00	1,60	210,00	168,00		
			2,70	0,90	1,80	225,00	168,00		
			2,70	0,85	1,85	240,00	168,00		
			2,90	0,80	2,10	255,00	168,00		
			3,10	0,75	2,35	270,00	168,00		
TM4	3,80	19,20	3,10	0,80	2,30	275,00	168,00		
			3,20	0,80	2,40	290,00	168,00		
			3,30	0,80	2,50	305,00	168,00		
			3,40	0,80	2,60	320,00	168,00		
			3,40	1,00	2,40	325,00	168,00		
			3,40	0,95	2,45	340,00	168,00		
			3,50	0,90	2,60	355,00	168,00		
			3,50	0,90	2,60	370,00	168,00		
			3,00	0,50	2,50	375,00	168,00		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-2



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

Esta prueba transcurrió de manera normal, debido a que la cerveza a filtrar tenía una turbidez baja, por lo que la diferencia de presión en el filtro no hizo que el caudal de filtración disminuyera; por lo tanto, se pudo filtrar un volumen de cerveza adecuado teniendo así un ahorro de tierras que está por debajo del objetivo planteado por la empresa.

6.1.2 Segunda réplica de la prueba 1

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 20/80

Caudal de dosificación: 168 l/h

Dosificación: continua

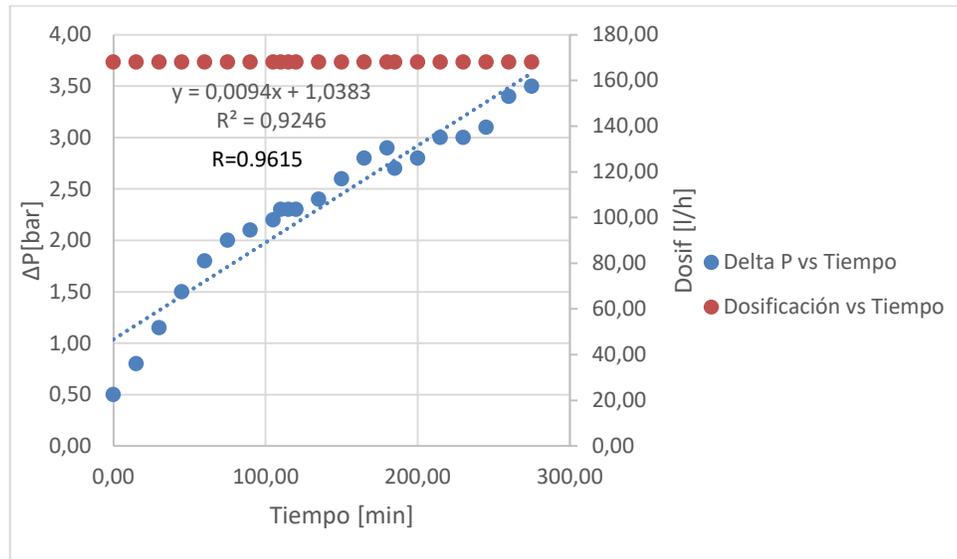
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 517 HI y una turbidez media de 0,43 ebc:

Tabla 6-3

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM1	3,80	12,10	1,50	1,00	0,50	0,00	168,00	0,43	517
			1,80	1,00	0,80	15,00	168,00		
			2,00	0,85	1,15	30,00	168,00		
TM2	3,00	10,70	2,40	0,90	1,50	45,00	168,00		
			2,40	0,60	1,80	60,00	168,00		
			2,50	0,50	2,00	75,00	168,00		
TM3	3,00	9,90	2,80	0,60	2,20	105,00	168,00		
			3,00	0,70	2,30	110,00	168,00		
			3,10	0,80	2,30	115,00	168,00		
TM19	4,20	14,20	3,20	0,90	2,30	120,00	168,00		
			3,50	1,10	2,40	135,00	168,00		
			3,70	1,10	2,60	150,00	168,00		
			3,90	1,10	2,80	165,00	168,00		
			4,30	1,40	2,90	180,00	168,00		
			3,60	0,90	2,70	185,00	168,00		
			3,40	0,60	2,80	200,00	168,00		
			3,40	0,40	3,00	215,00	168,00		
			3,50	0,50	3,00	230,00	168,00		
			3,70	0,60	3,10	245,00	168,00		
3,80	0,40	3,40	260,00	168,00					
TM4	9,00	30,90	4,00	0,50	3,50	275,00	168,00		

Fuente: Elaboración propia, 2017,

Figura 6-3



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

En esta prueba el volumen de cerveza filtrada es aceptable; la diferencia de presión en el filtro no hizo que el caudal de filtración disminuyera, por lo que se pudo obtener un ahorro de tierras filtrantes que está por debajo del objetivo planteado por la empresa.

6.2 Prueba 2

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Caudal de dosificación: 168 l/h

Dosificación: continua

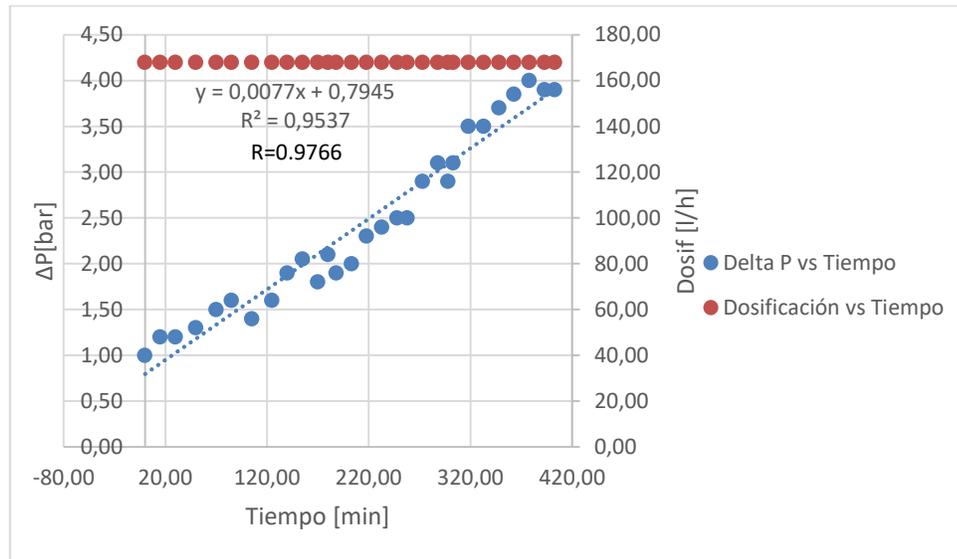
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 703 Hl y una turbidez media de 0,33 ebc:

Tabla 6-4

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM4	3,00	10,40	1,40	0,40	1,00	0,00	168,00	0,33	703
			1,60	0,40	1,20	15,00	168,00		
			2,30	1,10	1,20	30,00	168,00		
			2,40	1,10	1,30	50,00	168,00		
			2,50	1,00	1,50	70,00	168,00		
			2,40	0,80	1,60	85,00	168,00		
			2,00	0,60	1,40	105,00	168,00		
TM1	3,00	8,00	2,30	0,70	1,60	125,00	168,00		
			2,50	0,60	1,90	140,00	168,00		
			2,60	0,55	2,05	155,00	168,00		
			2,20	0,40	1,80	170,00	168,00		
			2,90	0,80	2,10	180,00	168,00		
TM3	5,00	12,30	2,80	0,90	1,90	188,00	168,00		
			2,90	0,90	2,00	203,00	168,00		
			3,30	1,00	2,30	218,00	168,00		
			3,50	1,10	2,40	233,00	168,00		
			3,50	1,00	2,50	248,00	168,00		
			3,30	0,80	2,50	258,00	168,00		
TM19	3,80	12,50	3,50	0,60	2,90	273,00	168,00		
			3,50	0,40	3,10	288,00	168,00		
			4,10	1,20	2,90	298,00	168,00		
			4,00	0,90	3,10	303,00	168,00		
			4,10	0,60	3,50	318,00	168,00		
			4,10	0,60	3,50	333,00	168,00		
			4,30	0,60	3,70	348,00	168,00		
			4,40	0,55	3,85	363,00	168,00		
			4,40	0,40	4,00	378,00	168,00		
			4,30	0,40	3,90	393,00	168,00		
			4,30	0,40	3,90	403,00	168,00		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-4



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

En esta prueba se tuvo uno de los mejores ahorros de tierras filtrantes; el volumen de cerveza filtrada fue el más alto en comparación con las otras pruebas, esto puede ser debido a que las turbideces de la cerveza a filtrar eran bajas, por lo que la diferencia de presión en el filtro no provocó que el caudal de filtración disminuyera y se pudo tener un ciclo más largo de filtración.

6.2.1 Primera réplica de la prueba 2

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Caudal de dosificación: 168 l/h

Dosificación: continua

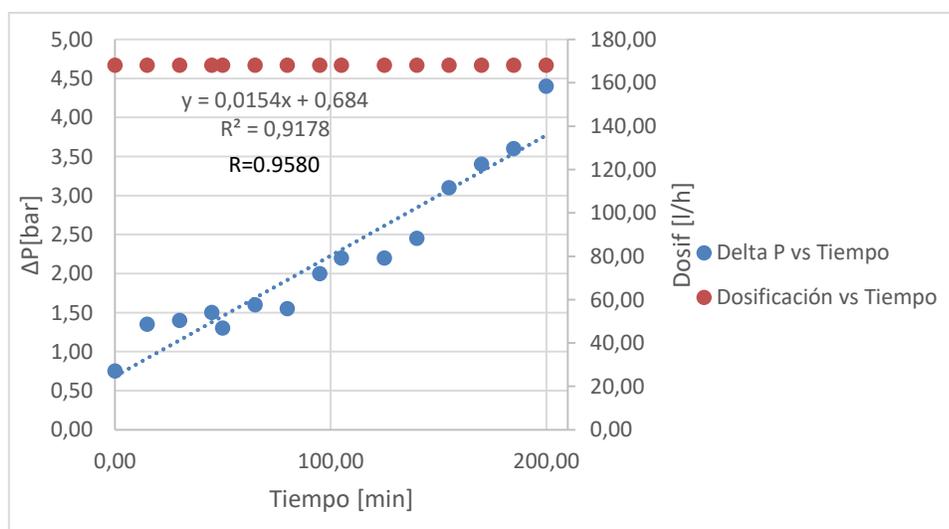
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 369 HI y una turbidez media de 0,46 ebc:

Tabla 6-5

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM2	5,00	15,90	1,50	0,75	0,75	0,00	168,00	0,46	369
			1,85	0,50	1,35	15,00	168,00		
			2,00	0,60	1,40	30,00	168,00		
			2,70	1,20	1,50	45,00	168,00		
			2,10	0,80	1,30	50,00	168,00		
TM4	5,40	20,70	2,40	0,80	1,60	65,00	168,00		
			2,35	0,80	1,55	80,00	168,00		
			2,50	0,50	2,00	95,00	168,00		
			3,00	0,80	2,20	105,00	168,00		
TM3	6,40	17,70	2,60	0,40	2,20	125,00	168,00		
			2,80	0,35	2,45	140,00	168,00		
			3,50	0,40	3,10	155,00	168,00		
			3,70	0,30	3,40	170,00	168,00		
			4,00	0,40	3,60	185,00	168,00		
			5,00	0,60	4,40	200,00	168,00		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-5



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

Esta prueba tuvo un volumen bajo de cerveza filtrada, debido a que no había más disponible para filtrar. A pesar de no haber sido un ciclo largo, se tuvo un ahorro de tierras filtrantes que está por debajo del objetivo de la empresa.

6.2.2 Segunda réplica de la prueba 2

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Caudal de dosificación: 168 l/h

Dosificación: continua

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 500 HI y una turbidez media de 0,35 ebc:

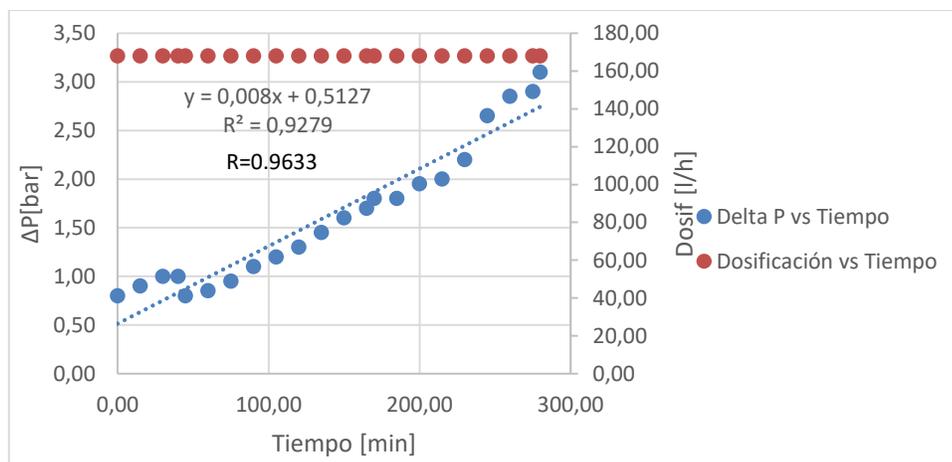
Tabla 6-6

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TCC6	7,00	14,60	1,50	0,70	0,80	0,00	168,00	0,35	500
			1,90	1,00	0,90	15,00	168,00		
			1,90	0,90	1,00	30,00	168,00		
			1,90	0,90	1,00	40,00	168,00		
TM19	3,60	13,80	1,80	1,00	0,80	45,00	168,00		
			1,80	0,95	0,85	60,00	168,00		
			1,85	0,90	0,95	75,00	168,00		
			1,90	0,80	1,10	90,00	168,00		
			2,00	0,80	1,20	105,00	168,00		
			2,10	0,80	1,30	120,00	168,00		
			2,20	0,75	1,45	135,00	168,00		
			2,30	0,70	1,60	150,00	168,00		
TM1	3,00	9,70	2,60	0,80	1,80	170,00	168,00		

			2,60	0,80	1,80	185,00	168,00		
			2,50	0,55	1,95	200,00	168,00		
			2,80	0,80	2,00	215,00	168,00		
TM4	3,20	20,4	3,00	0,80	2,20	230,00	168,00		
			3,40	0,75	2,65	245,00	168,00		
			3,50	0,65	2,85	260,00	168,00		
			3,60	0,70	2,90	275,00	168,00		
			4,00	0,90	3,10	280,00	168,00		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-6



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

Esta prueba tuvo un volumen de cerveza filtrada aceptable, fue un ciclo normal en el que la diferencia de presión en el filtro no provocó que el caudal de filtración disminuyera y se tuvo un ahorro de tierras filtrantes que está muy por debajo del objetivo planteado por la empresa.

6.3 Prueba 3

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 20/80

Caudal de dosificación: 184,8 l/h

Dosificación: continua

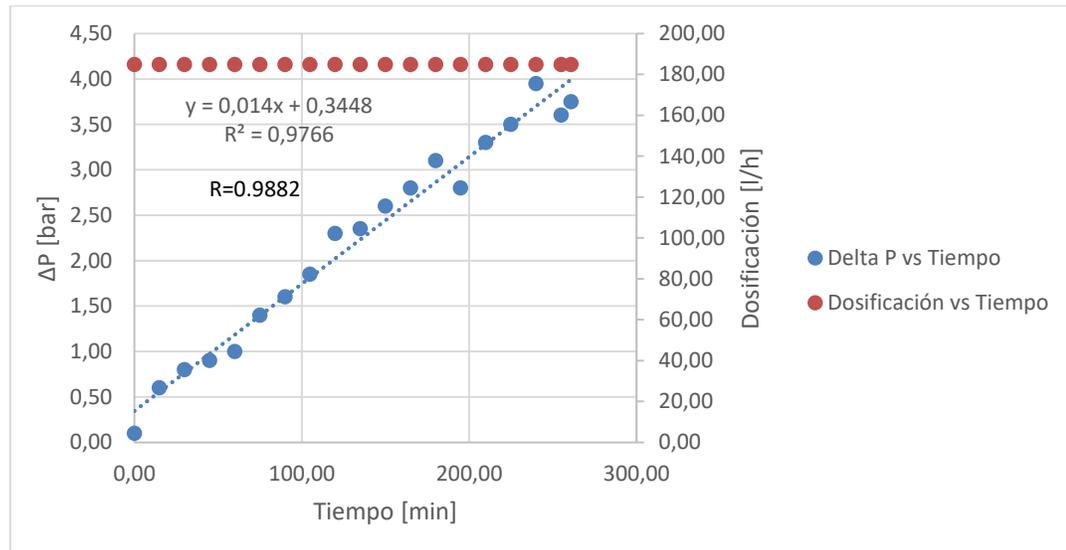
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 432 HI y una turbidez media de 0,33 ebc:

Tabla 6-7

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM4	4,60	14,00	1,50	1,40	0,10	0,00	184,80	0,33	432
			1,40	0,80	0,60	15,00	184,80		
TM2	2,40	15,80	1,40	0,60	0,80	30,00	184,80		
			1,50	0,60	0,90	45,00	184,80		
			1,90	0,90	1,00	60,00	184,80		
			2,30	0,90	1,40	75,00	184,80		
TM19	8,80	26,70	2,30	0,70	1,60	90,00	184,80		
			2,60	0,75	1,85	105,00	184,80		
			2,90	0,60	2,30	120,00	184,80		
			3,00	0,65	2,35	135,00	184,80		
			3,00	0,40	2,60	150,00	184,80		
			3,10	0,30	2,80	165,00	184,80		
TM1	3,20	18,90	3,60	0,50	3,10	180,00	184,80		
			3,80	1,00	2,80	195,00	184,80		
			4,00	0,70	3,30	210,00	184,80		
			4,00	0,50	3,50	225,00	184,80		
			4,30	0,35	3,95	240,00	184,80		
			4,10	0,50	3,60	255,00	184,80		
			4,25	0,50	3,75	261,00	184,80		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-7



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

Esta prueba tuvo un volumen bajo de cerveza filtrada, debido a que la diferencia de presión en el filtro provocó que el caudal de filtración disminuyera. A pesar de no haber sido un ciclo largo, se tuvo un ahorro de tierras filtrantes que está por debajo del objetivo de la empresa.

6.3.1 Primera réplica de la prueba 3

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 20/80

Caudal de dosificación: 184,8 l/h

Dosificación: continua

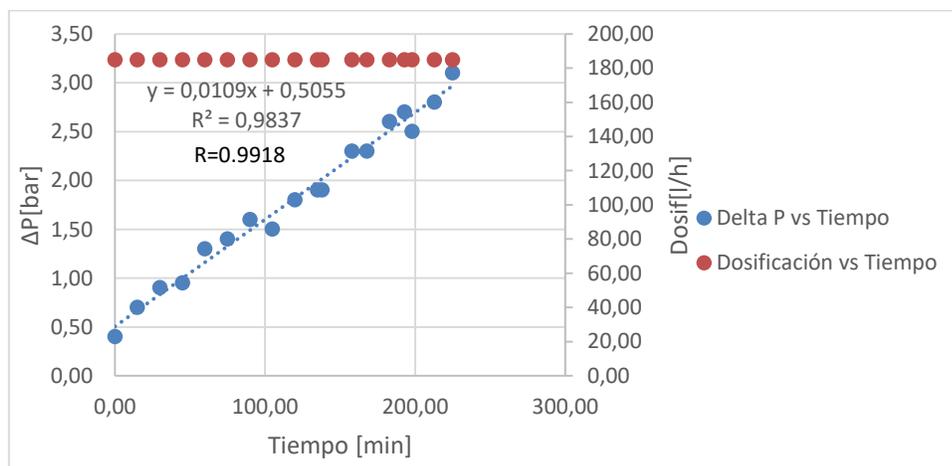
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 394 Hl y una turbidez media de 0,48 ebc:

Tabla 6-8

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM19	7,00	21,30	1,50	1,10	0,40	0,00	184,80	0,48	394
			1,50	0,80	0,70	15,00	184,80		
			1,50	0,60	0,90	30,00	184,80		
			1,50	0,55	0,95	45,00	184,80		
			1,90	0,60	1,30	60,00	184,80		
			2,00	0,60	1,40	75,00	184,80		
			2,25	0,65	1,60	90,00	184,80		
TM4	2,80	21,10	2,20	0,70	1,50	105,00	184,80		
			2,90	1,10	1,80	120,00	184,80		
			3,40	1,50	1,90	135,00	184,80		
TM2	5,00	25,60	2,90	1,00	1,90	138,00	184,80		
			3,40	1,10	2,30	158,00	184,80		
			3,50	1,20	2,30	168,00	184,80		
			3,90	1,30	2,60	183,00	184,80		
			3,70	1,00	2,70	193,00	184,80		
TM3	2,60	15,50	3,50	1,00	2,50	198,00	184,80		
			3,80	1,00	2,80	213,00	184,80		
			4,00	0,90	3,10	225,00	184,80		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-8



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

Esta prueba tuvo un volumen bajo de cerveza filtrada, debido a que no había más disponible para filtrar. A pesar de no haber sido un ciclo largo, se tuvo un ahorro de tierras filtrantes que está por debajo del valor de gasto de tierras que se tenía anteriormente pero no cumple con objetivo de la empresa.

6.3.2 Segunda réplica de la prueba 3

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 20/80

Caudal de dosificación: 184,80 l/h

Dosificación: continua

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 683 HI y una turbidez media de 0,44 ebc:

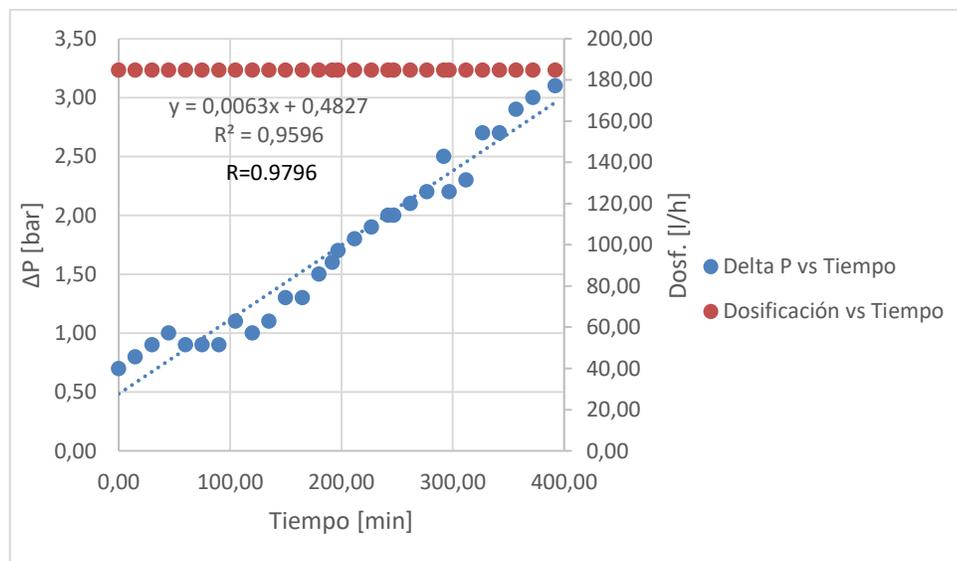
Tabla 6-9

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM4	2,00	12,70	1,50	0,80	0,70	0,00	184,80	0,44	683
			1,50	0,70	0,80	15,00	184,80		
			1,70	0,80	0,90	30,00	184,80		
			1,50	0,50	1,00	45,00	184,80		
TM1	1,60	7,40	1,90	1,00	0,90	60,00	184,80		
			1,60	0,70	0,90	75,00	184,80		
			1,50	0,60	0,90	90,00	184,80		
			1,70	0,60	1,10	105,00	184,80		
			1,50	0,50	1,00	120,00	184,80		
TM2	1,80	7,80	1,70	0,60	1,10	135,00	184,80		
			1,90	0,60	1,30	150,00	184,80		
			2,10	0,80	1,30	165,00	184,80		
			3,40	1,90	1,50	180,00	184,80		
			2,50	0,90	1,60	192,00	184,80		
			2,70	1,00	1,70	197,00	184,80		
TM3	1,40	5,50	2,80	1,00	1,80	212,00	184,80		

			2,90	1,00	1,90	227,00	184,80		
			2,90	0,90	2,00	242,00	184,80		
TM19	5,00	19,50	2,60	0,60	2,00	247,00	184,80		
			2,90	0,80	2,10	262,00	184,80		
			3,20	1,00	2,20	277,00	184,80		
			3,10	0,60	2,50	292,00	184,80		
			3,00	0,80	2,20	297,00	184,80		
			3,50	1,20	2,30	312,00	184,80		
			3,50	0,80	2,70	327,00	184,80		
			3,30	0,60	2,70	342,00	184,80		
			3,30	0,40	2,90	357,00	184,80		
			3,40	0,40	3,00	372,00	184,80		
			3,50	0,40	3,10	392,00	184,80		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-9



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

En esta prueba se tuvo un volumen de cerveza filtrada alto debido a que la diferencia de presión en el filtro no provocó que el caudal de filtración disminuyera; fue un ciclo largo que permitió tener un ahorro de tierras filtrantes que está por debajo del objetivo planteado por la empresa.

6.4 Prueba 4

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Caudal de dosificación: 184,8 l/h

Dosificación: continua

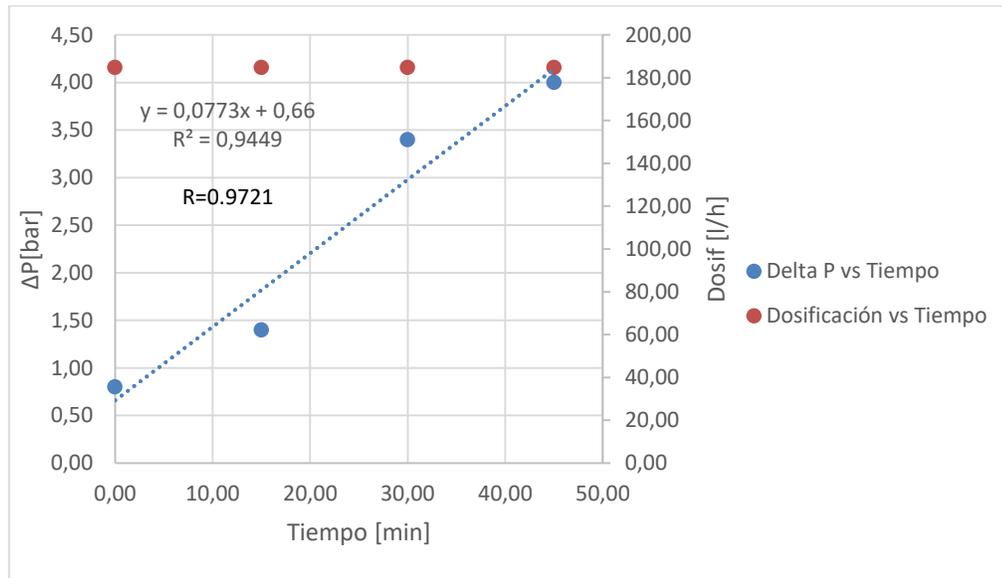
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 85 HI y una turbidez media de 0,33 ebc:

Tabla 6-10

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TCC6	7,00	14,60	1,50	0,70	0,80	0,00	184,80	0,33	85
			1,80	0,40	1,40	15,00	184,80		
			4,00	0,60	3,40	30,00	184,80		
			4,60	0,60	4,00	45,00	184,80		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-10



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

En esta prueba el filtro se tapó demasiado rápido; la diferencia de presión en el filtro provocó que el caudal de filtración disminuyera considerablemente, el volumen filtrado fue muy poco, esto puede ser debido a que se está teniendo problemas con la levadura, se cree que por falta de calcio la levadura no está precipitando de manera adecuada, lo cual ocasiona que la levadura quede en suspensión. Por todo esto se tuvo un consumo de tierras filtrantes muy por encima del consumo que se tenía en la caracterización.

6.4.1 Primera réplica de la prueba 4

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Caudal de dosificación: 184,8 l/h

Dosificación: continua

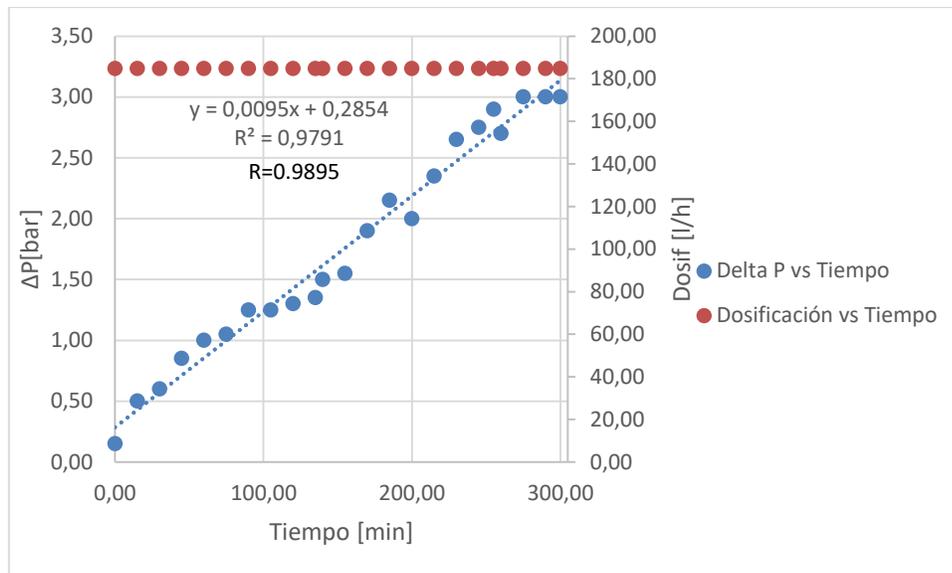
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 503 HI y una turbidez media de 0,44 ebc:

Tabla 6-11

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM4	5,00	20,40	1,30	1,15	0,15	0,00	184,80	0,44	503
TM2	3,00	8,70	1,50	1,00	0,50	15,00	184,80		
			1,60	1,00	0,60	30,00	184,80		
			1,70	0,85	0,85	45,00	184,80		
			1,80	0,80	1,00	60,00	184,80		
TM3	2,20	6,70	1,85	0,80	1,05	75,00	184,80		
			2,00	0,75	1,25	90,00	184,80		
			2,00	0,75	1,25	105,00	184,80		
			2,10	0,80	1,30	120,00	184,80		
TM19	7,00	18,10	2,25	0,90	1,35	135,00	184,80		
			2,30	0,80	1,50	140,00	184,80		
			2,30	0,75	1,55	155,00	184,80		
			2,40	0,50	1,90	170,00	184,80		
			2,75	0,60	2,15	185,00	184,80		
			3,10	1,10	2,00	200,00	184,80		
			3,25	0,90	2,35	215,00	184,80		
			3,25	0,60	2,65	230,00	184,80		
			3,25	0,50	2,75	245,00	184,80		
			3,50	0,60	2,90	255,00	184,80		
			3,50	0,80	2,70	260,00	184,80		
			3,80	0,80	3,00	275,00	184,80		
TM3	2,20	6,70	4,00	1,00	3,00	290,00	184,80		
			4,00	1,00	3,00	300,00	184,80		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-11



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

Esta prueba transcurrió de manera normal porque la diferencia de presión en el filtro no provocó que el caudal de filtración disminuyera, el volumen de cerveza filtrada es aceptable y el consumo de tierras filtrantes está por debajo del valor establecido por la empresa.

6.4.2 Segunda réplica de la prueba 4

La estrategia de filtración es la siguiente:

Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70

Caudal de dosificación: 184,80 l/h

Dosificación: continua

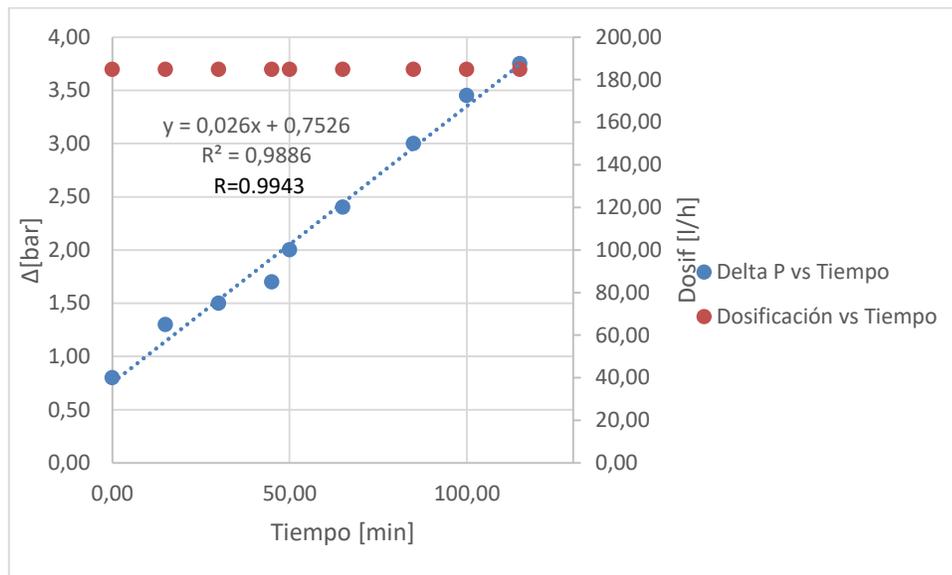
En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en la prueba con un volumen total de cerveza filtrada de 196 HI y una turbidez media de 0,33 ebc:

Tabla 6-12

Tanque	RC x10 ⁻⁶	Turbidez i [ebc]	P1 [bar]	P2 [bar]	ΔP [bar]	Tiempo [min]	Dosif [l/h]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]	Volumen filtrado [HI]
TM1	8,80	29,80	1,60	0,80	0,80	0,00	184,80	0,33	196
			2,20	0,90	1,30	15,00	184,80		
			2,40	0,90	1,50	30,00	184,80		
			2,60	0,90	1,70	45,00	184,80		
			3,00	1,00	2,00	50,00	184,80		
TM2	4,60	14,20	3,00	0,60	2,40	65,00	184,80		
			4,00	1,00	3,00	85,00	184,80		
			4,10	0,65	3,45	100,00	184,80		
			4,75	1,00	3,75	115,00	184,80		

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-12



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura se muestra la curva de filtración de la prueba en el eje principal; en el eje secundario se muestra la dosificación de tierras que se realiza a los distintos tiempos.

Se puede ver que los datos siguen una tendencia lineal.

En esta prueba se filtró poco volumen de cerveza en relación a otras pruebas, debido a que no había más disponible. El filtro se fue tapando provocando que la velocidad de filtración disminuya paulatinamente.

Se tuvo un ahorro de tierras filtrantes en comparación con el consumo de tierras filtrantes anteriormente, sin embargo, no fue suficiente para estar por debajo del objetivo planteado por la empresa.

6.5 Comparación de resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados de todas las pruebas con sus respectivas réplicas:

Tabla 6-113

Prueba	Gasto de tierras [Kg]			Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/HI]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]
	Hyflo	Std	Total			
1	38,90	8,20	47,10	457,00	103,06	0,40
1.1	37,90	10,00	47,90	621,00	77,13	0,56
1.2	30,75	8,30	39,05	517,00	75,53	0,43
2	36,50	16,10	52,60	703,00	74,82	0,33
2.1	36,05	13,40	49,45	689,00	71,77	0,46
2.2	26,60	10,25	36,85	500,00	73,70	0,35
3	28,60	8,20	36,80	432,00	85,19	0,33
3.1	32,20	8,40	40,60	394,00	103,05	0,48
3.2	44,05	9,25	53,30	683,00	78,04	0,44
4	10,95	5,10	16,05	85,00	188,82	0,33
4.1	28,15	12,60	40,75	503,00	81,01	0,44
4.2	12,10	6,75	18,85	196,00	96,17	0,33

Fuente: Elaboración propia, 2017.

A continuación, se presentarán los datos ordenados según la estrategia de filtración con la que se filtró.

Tabla 6-14

Estrategia 1

Prueba	Gasto de tierras [Kg]			Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/HI]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]
	Hyflo	Std	Total			
1	38,90	8,20	47,10	457,00	103,06	0,4
1.1	37,90	10,00	47,90	621,00	77,13	0,56
1.2	30,75	8,30	39,05	517,00	75,53	0,43
Media					85,24	0,47

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 6-15

Estrategia 2

Prueba	Gasto de tierras [Kg]			Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/HI]
	Hyflo	Std	Total		
2	36,50	16,10	52,60	703,00	74,82
2.1	19,10	10,65	29,75	369,00	80,62*
2.2	26,60	10,25	36,85	500,00	73,70
Media					76,38

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Debido a que el valor 80,62 de la prueba 2.1 se encuentra levemente alejado de los otros dos valores de las pruebas 2 y 2.2, se decidió repetir la prueba solo para cuantificar la cantidad de tierras.

A continuación, se muestra la tabla de resultados correspondiente a la estrategia 2, con el valor de la prueba que se repitió.

Tabla 6-16

Prueba	Gasto de tierras [Kg]			Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/HI]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]
	Hyflo	Std	Total			
2	36,50	16,10	52,60	703,00	74,82	0,33
2.1*	36,05	13,40	49,45	689,00	71,77	0,46
2.2	26,60	10,25	36,85	500,00	73,70	0,35
Media					73,43	0,37

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 6-17

Estrategia 3

Prueba	Gasto de tierras [Kg]			Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/HI]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]
	Hyflo	Std	Total			
3	28,60	8,20	36,80	432,00	85,19	0,33
3.1	32,20	8,40	40,60	394,00	103,05	0,48
3.2	44,05	9,25	53,30	683,00	78,04	0,44
Media					88,76	0,42

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 6-18

Estrategia 4

Prueba	Gasto de tierras [Kg]			Volumen filtrado [HI]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/HI]	Turbidez de cerveza filtrada [ebc]
	Hyflo	Std	Total			
4	10,95	5,10	16,05	85,00	188,82	0,33
4.1	28,15	12,60	40,75	503,00	81,01	0,44
4.2	12,10	6,75	18,85	196,00	96,17	0,33
Media					122,00	0,40

Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.6 Análisis de la calidad del producto

Las variables de respuesta más importantes en el proceso de filtración son la cantidad de oxígeno y la turbidez después de la filtración. Por lo que a continuación se muestran los datos obtenidos:

Tabla 6-19

Prueba	Tanque BBT	Volumen [HI]	O ₂ [ppb]	Turbidez [ebc]	Contenido de CO ₂ [g/l]
1	M3	80	18,00	0,48	5,62
	M1	100	20,00	0,36	5,58
	M2	200	5,00	0,35	5,68
	M3	77	13,00	0,50	5,53
1.1	M1	105	6,00	0,46	5,50
	M2	231	9,00	0,79	5,44
	M3	90	13,00	0,46	5,65
	M1	105	14,00	0,42	5,54

	M3	90	19,00	0,36	5,57
1.2	M3	78	10,00	0,45	5,52
	M2	164	3,00	0,50	5,70
	M1	105	9,00	0,31	5,54
	M2	170	10,00	0,43	5,58
2	M3	90	14,00	0,49	5,47
	M2	240	8,00	0,30	5,49
	M1	105	4,00	0,32	5,44
	M3	90	10,00	0,32	5,77
	M2	178	10,00	0,31	5,55
2.1	M3	88	10,00	0,61	5,42
	M1	105	14,00	0,31	5,65
	M2	176	9,00	0,47	5,70
2.2	M1	79	11,00	0,57	5,61
	M2	226	8,00	0,32	5,47
	M3	90	10,00	0,31	5,52
	M1	105	16,00	0,29	5,44
3	M2	237	7,00	0,37	5,66
	M3	90	10,00	0,29	5,54
	M1	105	8,00	0,29	5,58
3.1	M2	238	13,00	0,50	5,57
	M1	106	20,00	0,38	5,70
	M3	50	4,00	0,56	5,53
3.2	M3	90	11,00	0,70	5,43
	M2	224	17,00	0,42	5,62
	M1	105	13,00	0,50	5,59
	M3	90	20,00	0,28	5,51
	M2	174	10,00	0,36	5,47
4	M3	85	17,00	0,33	5,56
4.1	M2	234	9,00	0,53	5,61
	M3	90	10,00	0,36	5,47
	M1	105	9,00	0,26	5,52
	M2	74	2,00	0,48	5,44
4.2	M3	90	8,00	0,38	5,61
	M1	105	8,00	0,29	5,67

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

A continuación, se presentarán los datos ordenados según la estrategia de filtración con la que se filtró.

Tabla 6-20

Estrategia 1

Prueba	Tanque BBT	Volumen [HI]	O2 [ppb]	Turbidez [ebc]	Contenido de CO ₂ [g/l]
1	M3	80	18,00	0,48	5,62
	M1	100	20,00	0,36	5,58
	M2	200	5,00	0,35	5,68
	M3	77	13,00	0,50	5,53
1.1	M1	105	6,00	0,46	5,50
	M2	231	9,00	0,79	5,44
	M3	90	13,00	0,46	5,65
	M1	105	14,00	0,42	5,54
	M3	90	19,00	0,36	5,57
1.2	M3	78	10,00	0,45	5,52
	M2	164	3,00	0,50	5,70
	M1	105	9,00	0,31	5,54
	M2	170	10,00	0,43	5,58
Media			10,29	0,47	5,57

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

Tabla 6-21

Estrategia 2

Prueba	Tanque BBT	Volumen [HI]	O2 [ppb]	Turbidez [ebc]	Contenido de CO ₂ [g/l]
2	M3	90	14,00	0,49	5,47
	M2	240	8,00	0,30	5,49
	M1	105	4,00	0,32	5,44
	M3	90	10,00	0,32	5,77
	M2	178	10,00	0,31	5,55
2.1	M3	88	10,00	0,61	5,42
	M1	105	14,00	0,31	5,65
	M2	176	9,00	0,47	5,70
2.2	M1	79	11,00	0,57	5,61
	M2	226	8,00	0,32	5,47

	M3	90	10,00	0,31	5,52
	M1	105	16,00	0,29	5,44
Media			9,84	0,37	5,54

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

Tabla 6-22

Estrategia 3

Prueba	Tanque BBT	Volumen [Hl]	O2 [ppb]	Turbidez [ebc]	Contenido de CO ₂ [g/l]
3	M2	237	7,00	0,37	5,66
	M3	90	10,00	0,29	5,54
	M1	105	8,00	0,29	5,58
3.1	M2	238	13,00	0,50	5,57
	M1	106	20,00	0,38	5,70
	M3	50	4,00	0,56	5,53
3.2	M3	90	11,00	0,70	5,43
	M2	224	17,00	0,42	5,62
	M1	105	13,00	0,50	5,59
	M3	90	20,00	0,28	5,51
	M2	174	10,00	0,36	5,47
Media			12,27	0,42	5,58

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

Tabla 6-23

Estrategia 4

Prueba	Tanque BBT	Volumen [Hl]	O2 [ppb]	Turbidez [ebc]	Contenido de CO ₂ [g/l]
4	M3	85	17,00	0,33	5,56
4.1	M2	234	9,00	0,53	5,61
	M3	90	10,00	0,36	5,47
	M1	105	9,00	0,26	5,52
	M2	74	2,00	0,48	5,44
4.2	M3	90	8,00	0,38	5,61
	M1	105	8,00	0,29	6,67
Media			9,07	0,40	5,70

Fuente: Planta CBN Tarija, 2017.

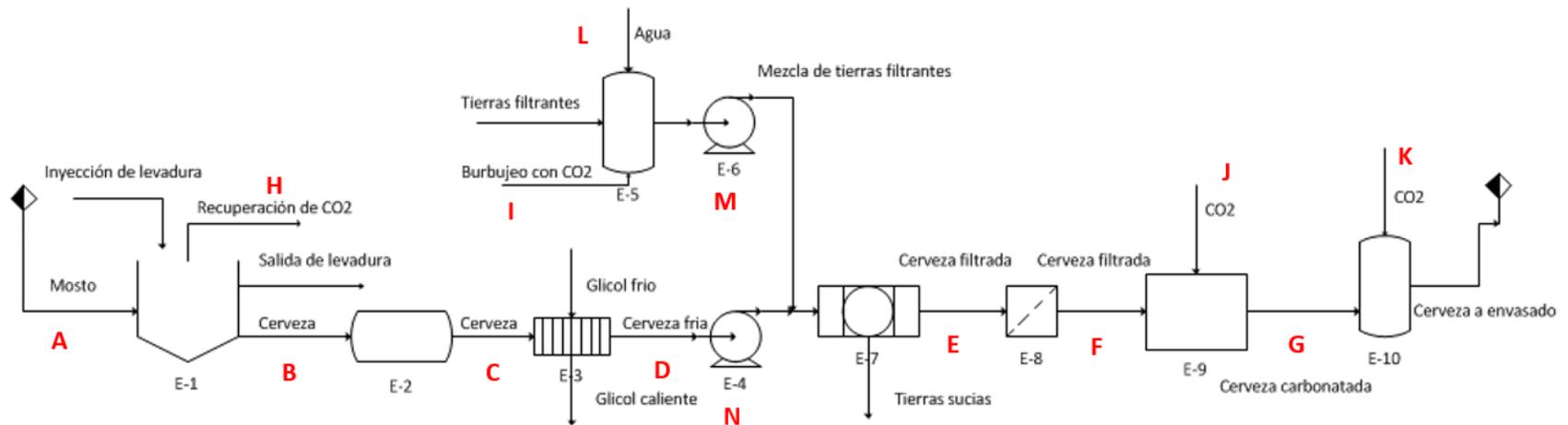
6.7 Análisis de la disminución de oxígeno

Para justificar la disminución de oxígeno en la cerveza en el proceso de filtración se realizó un análisis para determinar los puntos y las diferentes formas en las que se podría incorporar oxígeno en dicho proceso.

En el siguiente diagrama se muestran los puntos en los que se podría incorporar oxígeno a la cerveza:

Diagrama 4

Diagrama de flujo de proceso



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 6-24

Nomenclatura	Equipo
E-1	Tanque cilindro cónico
E-2	Tanque Madurador
E-3	Enfriador de placas
E-4	Bomba pistón
E-5	Tanque de tierras
E-6	Bomba centrífuga
E-7	Filtro KG
E-8	Filtro Trap
E-9	Carbonatador
E-10	Tanque BBT

Fuente: Elaboración propia, 2017.

6.7.1 Descripción de los puntos identificados en el diagrama

6.7.1.1 Líneas

Punto A: Línea de envío de mosto a TCC

Punto B: Línea de envío de cerveza a TM

Punto C: Línea de envío de cerveza al intercambiador de placas

Punto D: Línea de cerveza fría enviada al filtro KG

Punto E: Línea de cerveza filtrada enviada al filtro Trap

Punto F: Línea de cerveza filtrada enviada al carbonatador

Punto G: Línea de cerveza carbonatada enviada al tanque BBT

Las líneas mencionadas pueden incorporar oxígeno al proceso por los siguientes motivos:

- Mala ambientación (deficiente eliminación de oxígeno remanente en la línea)
- Fugas o fisuras en las tuberías

6.7.1.2 Pureza del CO₂

Punto H: Recuperación de CO₂ de TCC

Punto I: Burbujeo de CO₂ en el tanque de tierras filtrantes

Punto J: CO₂ usado en el carbonatador

Punto K: CO₂ usado a contrapresión en tanque BBT

Los puntos mencionados pueden incorporar oxígeno al proceso por los siguientes motivos:

- Baja pureza del CO₂ recuperado de TCC.
- Baja pureza del CO₂ proveniente de la planta de purificación que es usado en los puntos: I, J y K.
- Fugas o fisuras en las tuberías

6.7.1.3 Oxígeno contenido en el agua desaireada

Punto L: Agua desaireada que ingresa al tanque de tierras filtrantes

El punto L puede incorporar oxígeno al proceso si es que el oxígeno disuelto en el agua desaireada está fuera de los niveles aceptables.

6.7.1.4 Bombas

Punto M: Bomba de mezcla de tierras filtrantes

Punto N: Bomba de cerveza fría enviada al filtro KG

Los puntos mencionados pueden incorporar oxígeno al proceso por los siguientes motivos:

- Malos acoples y deficiencia de los sellos mecánicos de las bombas

6.7.2 Verificación de que no se incorpora oxígeno en los puntos mencionados

6.7.2.1 Líneas

6.7.2.1.1 Mala ambientación

Una mala ambientación de líneas puede provocar la incorporación de oxígeno a la cerveza, por lo que el operador debe realizar esta tarea de la forma correcta.

Para eliminar el oxígeno remanente que queda en las líneas primero se realiza el CIP caliente que consiste en pasar por las líneas soda cáustica:

Concentración 2,5 %

Temperatura 80°C

Tiempo 20 min.

Luego se enjuaga la soda cáustica con agua hasta que por un test de fenolftaleína se determine que ya no existen restos de soda en la línea.

Como el agua con la que se enjuaga aún contiene oxígeno, se empuja el agua de enjuague con agua desaireada y por último para asegurar que las líneas no contengan oxígeno se empuja el agua desaireada con CO₂.

Cabe recalcar que en los diferentes empujes de fluidos se debe evitar en lo posible el flujo turbulento.

El control de interfase se realiza en los visores.

6.7.2.1.2 Fugas o fisuras en las tuberías

CBN Planta Tarija determinó que el control y mantenimiento en las tuberías se realice anualmente, tomando en cuenta la probabilidad de fallo y la frecuencia de fallo de las mismas.

6.7.2.2 Pureza del CO₂

6.7.2.2.1 Baja pureza del CO₂ recuperado de TCC

Para que la planta de purificación de CO₂ pueda funcionar adecuadamente, el CO₂ que se recupera de los TCCs debe tener una pureza mínima de 99,5 %; cabe recalcar que esta pureza no indica solo el contenido de oxígeno en el CO₂ recuperado sino también otros gases que se hayan producido durante la fermentación.

Es por esto que antes de enviar el CO₂ a la planta purificadora se mide la pureza de este. El operador se asegura que el CO₂ cumpla con la pureza mínima de 99,5%. (CBN Planta Tarija recupera el CO₂ de los tanques de fermentación a una pureza de 99,85%).

6.7.2.2.2 Baja pureza del CO₂ proveniente de la planta de purificación que es usado posteriormente

Para verificar este punto se debe analizar el buen funcionamiento de la planta purificadora de CO₂, para obtener un CO₂ a 99,995% de pureza, por lo que a continuación se muestra el diagrama de dicha planta:

Tabla 6-25

Nomenclatura	Equipo
E-1	Trampa de espuma 1
E-2	Trampa de espuma 2
E-3	Torre de lavado
E-4	Globo de almacenaje
E-5	Compresor
E-6	Torre purificadora
E-7	Torre de secado
E-8	Intercambiador de tubos
E-9	Tanque de almacenaje
E-10	Vaporizador
E-11	Tanque pulmón

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Para garantizar un buen funcionamiento de la planta purificadora de CO₂, se debe cumplir con las rutinas de control y mantenimiento de ésta.

Trampa de espuma 1: El agua de esta trampa se purga diariamente.

Se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Trampa de espuma 2: El agua de esta trampa se purga diariamente.

Se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Torre de lavado: Se cambia el agua que se utiliza en esta torre 2 veces por semana, para asegurar que el agua se encuentre lo suficientemente limpia.

Se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Globo de almacenaje: se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Compresor: se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Torre purificadora: Se lava el lecho de carbón activado con vapor cada 15 días y luego se seca con aire caliente.

Se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Torre de secado: cada 15 días se seca la alúmina con aire caliente.

Se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Intercambiador de tubos: se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Tanque de almacenaje: se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Vaporizador: se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

Tanque pulmón: se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

6.7.2.2.3 Fugas o fisuras en las tuberías

CBN Planta Tarija determinó que el control y mantenimiento en las tuberías se realice anualmente tomando en cuenta la probabilidad de fallo y la frecuencia de fallo de las mismas.

6.7.2.3 Oxígeno contenido en el agua desaireada

Para verificar este punto se debe analizar el buen funcionamiento del sistema de desaireación de agua.

El Sistema DGS de desaireación de agua CENTEC es un sistema modular que utiliza la tecnología de membrana hidrofóbica. El uso de esta altamente eficiente membrana ofrece muy bajos costos de operación, resultando en valores muy bajos de oxígeno residual con baja energía y consumo de purga de gas (CO₂ o N₂).

Datos técnicos

Capacidad	10-2000 HI/h
Oxígeno residual	5-15 ppb
Temperatura	2-45°C
Presión	0-8 bar
Limpieza	CIP hasta 85°C
Material	1,4301/1,4404/ASI
Material de la membrana	Polipropileno

El mantenimiento que se hace a este sistema en general es anual, pero sus distintos componentes también tienen una frecuencia específica de mantenimiento:

El cambio de membrana se realiza cada 2 años

El mantenimiento de las válvulas es mensual

El mantenimiento de los sensores es semestral

El mantenimiento del enfriador de placas es anual

El mantenimiento de las tuberías es anual

También se mide el contenido de oxígeno a la salida del sistema con un oxímetro.

6.7.2.4 Bombas

6.7.2.4.1 Malos acoples y deficiencia de los sellos mecánicos

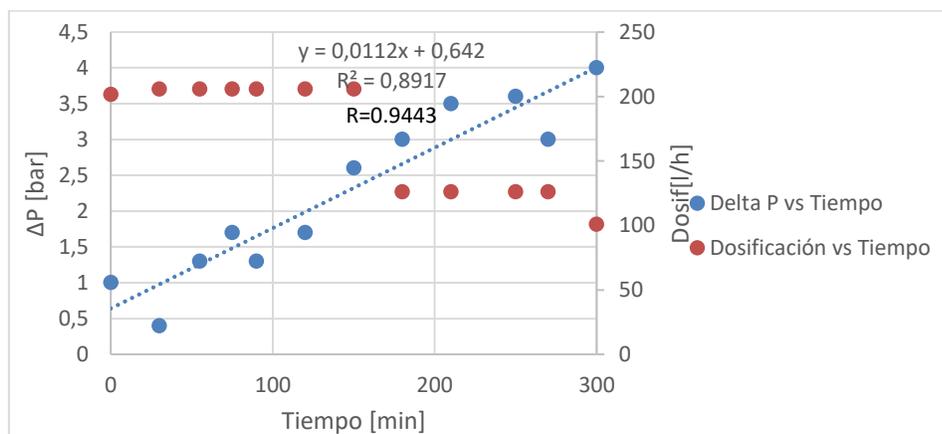
Para evitar estos problemas se realizan inspecciones semanales, mensuales, trimestrales y un mantenimiento anual. En caso de que en las inspecciones realizadas haya evidencia de un mal funcionamiento se realiza el mantenimiento respectivo.

6.8 Comparación de la caracterización con la estrategia óptima

A continuación, se muestra la comparación entre un ciclo de filtración de la caracterización y la estrategia dos que es la estrategia óptima según las pruebas.

Figura 6-13

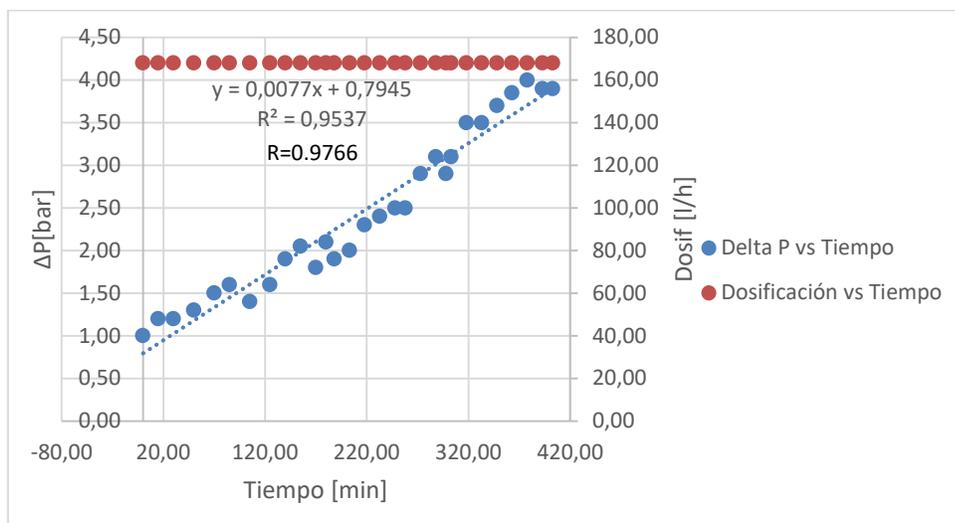
Curva de un ciclo de filtración en la caracterización



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura 6-14

Curva de un ciclo de filtración en la estrategia dos



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como se puede ver en las figuras 6-13 y 6-14, las curvas de filtración siguen una tendencia lineal; en la curva correspondiente a la caracterización no se tiene un caudal de dosificación de tierras filtrantes constante, el mismo va disminuyendo; en cambio, en la curva correspondiente a la estrategia dos el caudal de dosificación de tierras filtrantes es constante.

En la tabla 6-26 se muestran los resultados de la estrategia dos en comparación con los datos de la caracterización:

Tabla 6-26

Ciclo	Cantidad total de tierras [g]	Volumen filtrado [Hl]	Cantidad de tierras/Volumen filtrado [g/Hl]	Cantidad de O ₂ [ppb]
Caracterización	47450	379,60	125,00	12,76
Estrategia 2	46300	630,67	73,43	9,84
Diferencia	1150	251,07	51,57	2,92
% de reducción			41,26	22,88

Fuente: Elaboración propia, 2017.

De acuerdo con la tabla 6-26 con la estrategia dos se ahorra 51.57 g de tierras filtrantes en cada ciclo, lo que corresponde a un 41.26 % de ahorro en tierras filtrantes.

En cuanto al O_2 con la estrategia dos se reduce 2,92 ppb en cada ciclo, lo que corresponde a un 22,88 % de reducción de O_2 .

CAPÍTULO VII
ANÁLISIS ECONÓMICO

Capítulo VII

Análisis Económico

7.1 Cálculo de costo de capital

En la presente investigación no se hizo ninguna inversión en maquinaria, equipos o accesorios, por lo que no se realiza el cálculo del costo capital.

7.2 Costo de operación

Se realizó el análisis de costos de operación tomando en cuenta los costos de tierras filtrantes y costos de agua por las siguientes razones:

En cuanto a insumos, para la filtración se necesita tierras filtrantes, agua, gas natural, dióxido de carbono y electricidad.

El consumo de CO₂ no varía en función a la estrategia de filtración, por lo tanto, la cantidad es constante tanto en la situación inicial como en la situación final por lo que no se toma en cuenta en el análisis.

En el consumo de electricidad tampoco se tiene un ahorro porque las bombas funcionan las mismas horas en la situación inicial y en la situación final, entonces este valor no se toma en cuenta en el análisis.

En cuanto a mano de obra, el filtrador tiene un horario fijo, por lo que no tiene importancia que se reduzcan por ejemplo las operaciones de limpieza del filtro porque si el filtrador termina sus tareas asignadas en menor tiempo se le asignaran tareas extra para cumplir con su horario.

En la tabla 7-1 se muestran los costos en consumo de tierras filtrantes de la situación inicial en la gestión 2017:

Tabla 7-12

Costo en consumo de tierras filtrantes de la situación inicial

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Volumen de producción(referencial) [HI]	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4000,00	4000,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	50000,00
Consumo de tierras filtrantes inicial(g/hl)	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	
Consumo de tierras filtrantes inicial total [kg]	525,00	525,00	525,00	525,00	525,00	500,00	500,00	525,00	525,00	525,00	525,00	525,00	6250,00
Costo unitario de tierras [Bs/kg]	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	
Costo de tierras [Bs]	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	2487,50	2487,50	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	31093,75

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El costo total de tierras filtrantes es de 31093,75 Bs.

En la tabla 7-2 se muestran los costos en consumo de agua de la situación inicial en la gestión 2017:

Tabla 7-13
Costo en consumo de agua de la situación inicial

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
Consumo de agua inicial [m3]	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	1411,20
Costo unitario de agua [Bs/m3]	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	
Costo de agua inicial [Bs]	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	6175,41

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El costo total en agua es 6175,41 Bs.

En la tabla 7-3 se muestran los costos en consumo de tierras filtrantes de la situación final en la gestión 2018:

Tabla 7-14

Costo en consumo de tierras filtrantes de la situación final

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Volumen de producción(referencial) [HI]	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4000,00	4000,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	50000,00
Consumo de tierras filtrantes final [g/hl]	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	
Consumo de tierras filtrantes final [kg]	315,00	315,00	315,00	315,00	315,00	300,00	300,00	315,00	315,00	315,00	315,00	315,00	3750,00
Costo unitario de tierras [Bs/kg]	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	
Costo de tierras [Bs]	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	1492,50	1492,50	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	18656,25

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El costo total de tierras filtrantes es de 18656,25 Bs.

En la tabla 7-4 se muestran los costos en consumo de agua de la situación final en la gestión 2018:

Tabla 7-15

Costo en consumo de agua de la situación final

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Consumo de agua final [m3]	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	1209,60
Costo unitario de agua [Bs/m3]	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	
Costo de agua final [Bs]	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	5293,21

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El costo total de consumo de agua es 5293,21 Bs.

7.3 Análisis del ahorro económico

Tabla 7-5

Ahorro económico por la reducción de consumo de tierras filtrantes

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Volumen de producción(referencial) [HI]	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4000,00	4000,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	4200,00	50000,00
Consumo de tierras filtrantes inicial(g/hl)	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	
Consumo de tierras filtrantes inicial total [kg]	525,00	525,00	525,00	525,00	525,00	500,00	500,00	525,00	525,00	525,00	525,00	525,00	6250,00
Costo unitario de tierras [Bs/kg]	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	4,98	
Costo de tierras inicial [Bs]	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	2487,50	2487,50	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	2611,88	31093,75
Consumo de tierras filtrantes final [g/hl]	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	
Consumo de tierras filtrantes final [kg]	315,00	315,00	315,00	315,00	315,00	300,00	300,00	315,00	315,00	315,00	315,00	315,00	3750,00
Costo de tierras final [Bs]	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	1492,50	1492,50	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	1567,13	18656,25
Beneficios [Bs]	1044,75	1044,75	1044,75	1044,75	1044,75	995,00	995,00	1044,75	1044,75	1044,75	1044,75	1044,75	12437,50

Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Se tiene un ahorro en cuanto a consumo de tierras filtrantes de 12437,50 Bs. en el año con la nueva estrategia de filtración.

Realizamos el análisis del ahorro en cuanto a el consumo de agua:

Tabla 7-6

Ahorro económico por la reducción de consumo de agua

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Consumo de agua inicial [m3]	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	117,60	1411,20
Costo unitario de agua [Bs/m3]	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38	4,38
Costo de agua inicia [Bs]	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	514,62	6175,41
Consumo de agua final [m3]	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	100,80	1209,60
Costo de agua final [Bs]	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	441,10	5293,21
Beneficio	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	73,52	882,20

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se tiene un ahorro en cuanto a consumo de agua de 882,20 Bs. en el año con la nueva estrategia de filtración.

Por lo tanto, el ahorro anual es de 13319,7 Bs. al año con la nueva estrategia de filtración.

CAPÍTULO VIII
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo VIII

Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Se hizo la descripción del problema en el proceso de filtración de CBN Planta Tarija en el capítulo III.
- Se describieron las alternativas técnicas de solución en el capítulo III.
- El cambio de la estrategia de filtración es la solución más apropiada para CBN Planta Tarija de acuerdo con la matriz de decisión empleada.
- Bajo una estrategia de filtración con las siguientes características:
 - Relación de tierras Std/Hyflo: 30/70
 - Caudal de dosificación: 168 l/h
 - Dosificación: continua

Se logra disminuir el consumo de tierras filtrantes en un 41,26 % es decir de 125 g/Hl a 73.43 g/Hl.

- Se indicó las especificaciones técnicas del filtro usado en el proceso de filtración de CBN Planta Tarija en el capítulo III.
- La disminución del consumo específico de tierras filtrantes mejora los tiempos de filtración, tiempos de duración del ciclo, reducción del número de operaciones, reducción del consumo de agua de limpieza.
- Al reducir la cantidad de tierras filtrantes que se utiliza en el proceso de filtración, se disminuye la cantidad de descarte de tierras sucias.
- Al reducir la cantidad de ciclos de filtración se reducen el número de operaciones de armado de circuitos de filtración.
- Al reducir la cantidad de armado de circuitos de filtración se obtiene menor cantidad de picos de oxígeno al inicio de la filtración. Esto hace que la reducción de oxígeno sea 22,88 % en promedio durante un ciclo.
- Al disminuir el caudal de dosificación de tierras filtrantes la solución tiene mayor riesgo a incorporar oxígeno; sin embargo, la aplicación de un lavado con CO₂ en el tanque de tierras minimiza este efecto.

- Para evitar que la cerveza que se va a filtrar tenga una turbidez muy alta se debe asegurar que las purgas de levadura en los TCC se realicen de manera y frecuencia adecuada.
- Para obtener la cerveza a una temperatura aproximadamente a 1°C para la filtración se necesita una cantidad de glicol de 758,66 Hl a una temperatura de aproximadamente -1,40°C.
- Bajo la reducción de tierras filtrantes de 125 g/Hl a 73,43 g/Hl se tiene un ahorro anual de 12437,50 Bs.

8.2 Recomendaciones

- Para que el glicol usado para enfriar la cerveza en el intercambiador de placas no gane energía en las líneas se recomienda aislar las mismas.
- Se debe definir una receta de filtración para que el operador cumpla con las especificaciones de la estrategia óptima.
- Para mejorar la filtración se podría cambiar a una bomba de dosificación de tierras filtrantes con variador de frecuencia previo.
- Para facilitar el trabajo del operador y además mejorar la eficiencia del pesaje de tierras filtrantes se podría cambiar a un tanque de preparación de mezcla de tierras filtrantes de mayor tamaño.
- Para asegurar la medida exacta y precisa de tierras filtrantes se podría cambiar a una balanza con mayor precisión.
- Para evitar que el operador tenga que transportar las tierras usadas después de la filtración en una carretilla se podría implementar una bomba de extracción de tierras y mandarlas a un tanque para su posterior descarte, previo a análisis de rentabilidad.
- Para asegurar que el agua que se dosifica al filtro KG tenga niveles bajos de oxígeno se debería mejorar el sistema de inyección de CO₂ al tanque de tierras.
- Para reducir la incorporación de oxígeno en el tanque de mezcla de tierras filtrantes se debería cambiar el mismo por un tanque que se cierre herméticamente inyectando constantemente CO₂; también se podría cambiar

el diseño del tanque para que efectúe el mezclado con la inyección de CO₂ y no por agitación.

- Las tierras filtrantes que se desechan después del proceso de filtración pueden ser usadas en la Industria de Cerámica, más específicamente en los productos refractarios aislantes; esta sería una muy buena forma para evitar el problema de su disposición final.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. **Google (2014).** *Google Earth*. Fecha de consulta: 18 de septiembre de 2017, de: earth.google.es
2. **Wolfgang Kunze (1999).** *Tecnología para cerveceros y malteros*. Editorial VLB Berlin. Segunda edición.
3. **Tejada Eyzaguirre A. (2015, marzo).** *Acondicionamiento de las aguas de línea para la generación de vapor en la fábrica CBN Tarija*. Tesis de grado, ingeniería química.
4. **Filtración de la cerveza (2002).** Cervecería Boliviana Nacional.
5. **Dellatoffola (2017).** *Filtros de harina de fósiles con descarga automática NF*. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2017, de: <http://www.dellatoffola.it/it/catalogo/enologia/filtrazione-vino/filtri-farina-fossile/filtro-a-farina-fossile>
6. **Pierre Rapin, Patrick Jacquard (1999).** *Formulario del frío*. Editorial Marcombo. Segunda edición.
7. **Tablas para balance de energía.** Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017, de: <http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0639388.pdf>
8. **Wikipedia (2017).** *Etilenglicol*. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017, de: https://es.wikipedia.org/wiki/Etilenglicol#Hoja_de_datos_de_seguridad_de_material
9. **Instituto Nacional de Estadística (2017).** *Índice de precios al consumidor*. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2017, de: <http://www.ine.gob.bo/index.php/indice-precios-consumidor/introduccion>
10. **Banco Central de Bolivia (2017).** *Escala Salarial*. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2017, de: <https://www.bcb.gob.bo/?q=ESCALA%20SALARIAL>
11. **CENTEC (2017).** *Sistema de desaireación de agua*. Fecha de consulta: 11 de diciembre de 2017, de: http://rovisa.com.mx/productos/brochures/deareacion_de_agua_wds.pdf
12. **Cocinista (2017).** *Recetas y trucos para hacer cerveza*. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2017, de: <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hazlo-tu-mismo/hacer-cerveza/aireacion-del-mosto-de-cerveza.html>

13. Cervezas argentinas (2017). *Aireación del mosto frío.* Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2017, de:

<https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hazlo-tu-mismo/hacer-cerveza/aireacion-del-mosto-de-cerveza.html>

14. Virtual Pro (mayo 2007). *Maduración, filtración, carbonatación y pasteurización.*

Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2017, de:

<https://www.revistavirtualpro.com/revista/cerveza/27>

15. BBIB (2006). *Equipos de pasteurización.* Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2017, de:

https://www.sachverstand-gutachten.de/BBIE_01-06_24-28_Equipos_de_pasteurizacion.pdf

16. Folleto Celite. Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2017, de:

<http://www.quimicuy.com.ar/folletocelite.pdf>

17. Cerámicas. *Materias primas.* Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2017, de:

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.MateriasPrimasCeramicas.pdf>