

**Universidad de Costa Rica**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

---

**Evaluación de oportunidades de mejora en una empresa  
dedicada a la elaboración de cerveza.**

---

**PRÁCTICA DIRIGIDA DE GRADUACIÓN SOMETIDA A  
CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL  
GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

**JORGE CASTRO VEGA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO**

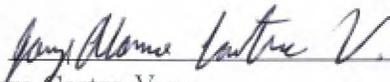
**SAN JOSÉ, COSTA RICA**

**2021**

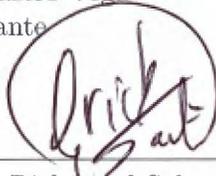


Evaluación de oportunidades de mejora en una empresa dedicada a la elaboración de cerveza.

Informe de Proyecto de graduación sometido a consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química.

  
\_\_\_\_\_  
Jorge Castro Vega

Sustentante



\_\_\_\_\_  
Esteban Richmond Salazar  
Escuela de Ingeniería Química  
Presidente del tribunal



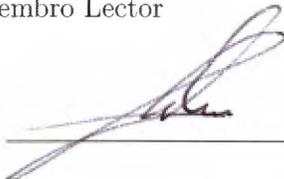
\_\_\_\_\_  
Ing. Natalia Montero Rambla, Lic  
Escuela de Ingeniería Química  
Directora del proyecto



\_\_\_\_\_  
Ing. Esteban Gamboa Gamboa, Lic  
Escuela de Ingeniería Química  
Miembro Lector

Adriana Vindas Valerio

M.Sc. Adriana Vindas Valerio  
Escuela de Ingeniería Química  
Miembro Lector



\_\_\_\_\_  
Escuela de Ingeniería Química  
Miembro Invitado

Ciudad de la Investigación, San José, Costa Rica, 9 de, Agosto de 2021



## **Dedicatoria**

Le dedico este trabajo a mi madre, a mi padre y a los que me aman.



## Agradecimientos

Le agradezco a todos los que hicieron posible terminar este trabajo y este ciclo de mi vida. Agradezco a Natalia Montero, a Esteban Gamboa, a Adriana Vindas y a Carlos Rumbos por su guía en este proceso.



## Resumen

En este trabajo se estudiaron diversos puntos del proceso y la gestión de la elaboración de la cerveza. A partir del estudio del proceso se evaluaron oportunidades de mejora en el mismo y se propuso cambios en el equipo y estandarización de procedimientos a través de documentos de operación estándar. En la industria de la elaboración de la cerveza, la determinación de la pérdida de extracto se convierte en un pilar fundamental. Esto se debe a que el extracto es el insumo primordial, a partir del cual las levaduras convertirán los azúcares fermentables en etanol. Cabe destacar que la pérdida de extracto se divide en dos sub-clasificaciones de gran importancia. La pérdida tecnológica y la pérdida real de extracto. La primera es el límite mínimo de pérdida de extracto que se obtiene en un proceso y que es impuesto por el tipo de tecnología y de procedimientos con los que opera la empresa en cuestión. Se realizó el estudio de los procedimientos y tecnologías que utiliza la empresa. Con esta información se utilizó un programa provisto por la empresa en el que se ingresan los parámetros estudiados para obtener cuál es el valor asociado a la pérdida tecnológica de acuerdo al estado actual del proceso. Por otra parte, la pérdida real es el valor actual de merma que se da en el proceso debido a eventualidades del mismo. Para esto se realizaron diferentes análisis de composición a las entradas, salidas y acumulaciones, dependiendo del proceso, de extracto en cada subsección y se determinó el valor de pérdida para cada uno de ellos y para el total del proceso. La empresa en la que se realizó el trabajo no cuenta con el estudio del valor de pérdida real ni tecnológica de extracto y como parte del pilar de calidad se hace necesaria la evaluación de esta información. En este proyecto se determinaron los puntos específicos donde se tienen mayores márgenes de diferencia entre la pérdida real y la tecnológica. De esta manera, se sugirió realizar algún cambio en las tecnologías y/o procedimientos actuales para disminuir esos márgenes puntuales. El análisis de la pérdida tecnológica y real se realizó sobre el proceso de producción de 4 marcas diferentes que utilizan los mismos equipos de producción. En este documento se llamará a cada marca de cerveza con una de las primeras cuatro letras del abecedario. Estas serán: A, B, C y D. Los resultados más notables para esta sección corresponden a la obtención de la merma real que se calculó en 5,63 % (m/m) para la cerveza A, 6,38 % (m/m) para la cerveza B, 6,19 % (m/m) para la cerveza C y 6,30 % (m/m) para la cerveza D. Además, el valor de la merma técnica que se calculó en 4,82 % (m/m) para la cerveza A, 4,94 % (m/m) para la cerveza B, 4,93 % (m/m) para la cerveza C y 4,87 % (m/m) para la cerveza D. Como era de esperar, la pérdida real resultó tener un valor mayor, ya que esta no sólo depende de la tecnología utilizada en el proceso, sino, también depende de las circunstancias de la producción. Se observa entonces que existe oportunidad para la mejora en la reducción de la merma real, ya que aún queda un margen de diferencia entre ambas pérdidas para todos los tipos de cerveza.

Por otra parte, existen procesos en la empresa para las secciones de fermentación, refrigeración, filtración y desalcoholización que todos los operarios deben realizar de la misma manera. Con este fin, se estandarizaron procedimientos requeridos en documentos llamados SOP ("Standard Operating Procedure", en inglés o Procedimiento de Operación Estándar). Inclusive, se capacitó a los operarios para el uso correcto

de los SOP.

Con la información de la pérdida real y tecnológica se obtuvo que la mayor cantidad de pérdida de extracto se observó en las secciones de cocimiento y fermentación. Dentro de las posibilidades de la empresa está la implementación de un sistema de separación de levadura en las purgas para recuperar cerveza. Se realizó un estudio de costo y oportunidad con un flujo de caja para la situación en la que no se implementa el sistema de recuperación de cerveza y otro para el caso en el que se implementa el sistema de recuperación. Por último, se realizó un tercer flujo de caja teniendo en cuenta el ahorro que se conseguiría cuando se instala el sistema de separación en un plazo de cinco años. Para el caso en el que no se implementa el sistema se obtiene un valor actual neto (VAN) de la inversión de \$ - 11 172 544,51 y para el caso en el que se implementa el sistema se obtiene un valor actual neto (VAN) de la inversión \$ - 6 710 537,47. Se evidencia que al implementar el sistema de recuperación se obtendría una reducción de las pérdidas económicas en comparación con el escenario en el que no se implementa el sistema. Este valor se obtuvo al realizar un flujo de caja contabilizando el ahorro anual que se tendría en caso de implementar el sistema, considerando esto como margen de ganancia para la empresa. Este ejercicio supuso un VAN de \$4462007,04. Aunado a esto, se consigue una tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto de un 40 %.



# Índice

	<i>Página</i>
<b>Dedicatoria</b>	<b>III</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Índice</b>	<b>X</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>XIII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XVII</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>1</b>
1.1 Historia de la cerveza y su consumo. . . . .	1
1.2 Composición de la cerveza . . . . .	2
1.3 Variables de interés medidas en la cerveza y distintas técnicas de medición de extracto. . . . .	3
1.3.1 Densímetros de inmersión . . . . .	5
1.3.2 Densímetros digitales . . . . .	6
1.4 Pérdida real y tecnológica de extracto . . . . .	6
1.5 Proceso de elaboración de la cerveza y tecnologías utilizadas. . . . .	7
1.5.1 Cocimiento . . . . .	7
1.5.2 Sección de Bodegas Frías o Cellars . . . . .	15
1.5.3 Proceso de desalcoholización . . . . .	16
1.6 Cálculo del valor actual neto de una inversión. . . . .	17
1.7 Tasa interna de retorno. . . . .	18
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
2.1 A. Metodología experimental para la determinación de extracto en Maltas. . . . .	21
2.1.1 Determinación de Humedad. . . . .	21

2.1.2	Maceración. . . . .	21
2.1.3	Equipo utilizado para la determinación de extracto en maltas	22
2.2	Metodología experimental para la determinación de extracto en afrecho.	23
2.2.1	Preparación de Muestras. . . . .	23
2.2.2	Determinación del extracto total disponible. . . . .	23
2.2.3	Determinación del extracto soluble. . . . .	24
2.2.4	Equipo utilizado para la determinación de extracto en afrecho	24
2.3	Metodología experimental para la determinación de extracto en la torta de trub proveniente de la olla de Whirlpool. . . . .	25
2.3.1	Preparación de las muestras. . . . .	26
2.3.2	Medición de extracto. . . . .	26
2.3.3	Cálculo para obtener extracto total en kilogramos de mosto perdido por cocimiento. . . . .	27
2.3.4	Equipo utilizado para la determinación de extracto en Whirlpool	27
2.4	Metodología experimental para la determinación de extracto perdido en las purgas de levadura. . . . .	28
2.4.1	Equipo utilizado para la determinación de extracto en purgas de levadura . . . . .	29

**ANÁLISIS DE FUENTES DE PÉRDIDA Y OPORTUNIDADES  
DE MEJORA**

3.1	Cuantificación de la pérdida real de extracto en sección de cocimiento y en la sección de bodegas frías. . . . .	33
3.2	Cuantificación de la pérdida tecnológica de extracto en sección de cocimiento y en la sección de bodegas frías. . . . .	41
3.3	Estudio de la reducción en la pérdida prevenible para la sección de fermentación y análisis de costo-beneficio. . . . .	49
3.3.1	Descripción del proceso general del funcionamiento de los sis- temas ofrecidos por ambas empresas GE y BU. . . . .	52
3.3.2	Análisis económico de los sistemas ofrecidos por ambas em- presas GE y BU. . . . .	53

3.4	Estandarización de protocolos de operación en procesos de desalcoholización, fermentación, filtración de cerveza y en procesos de refrigeración con amoníaco. . . . .	59
3.4.1	Estandarización de protocolos de operación en procesos de la planta desalcoholizadora. . . . .	60
3.4.2	Estandarización de protocolos de operación en procesos de la sección de Fermentación. . . . .	62
3.4.3	Estandarización de protocolos de operación en procesos de Refrigeración con Amoníaco . . . . .	63
3.4.4	Estandarización de protocolos de operación en procesos de Filtración . . . . .	64
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>65</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>69</b>
	<b>APÉNDICES</b>	<b>71</b>
A	Datos Experimentales . . . . .	71
B	Resultados Intermedios . . . . .	79

# Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.1</b> Compuestos mayoritarios de la cerveza comercial y rangos promedio (Buiatti, 2009) . . . . .	3
<b>Cuadro 3.1</b> Datos promedio de extracto en la salida del Whirlpool y cantidad perdida en la torta, así como el porcentaje de pérdida de extracto aportado por el Whirlpool. . . . .	34
<b>Cuadro 3.2</b> Merma Tecnológica en la sección de cocimiento para las diferentes cervezas. . . . .	43
<b>Cuadro 3.3</b> Media y desviación estandar de los valores de pérdida tecnológica para las distintas marcas de cerveza analizadas en la sección de cocimiento. . . . .	43
<b>Cuadro 3.4</b> Porcentaje de desviación desde la media para la pérdida tecnológica en la sección de cocimiento en las diferentes cervezas. . . . .	44
<b>Cuadro 3.5</b> Merma Tecnológica en la sección de fermentación para las diferentes cervezas. . . . .	45
<b>Cuadro 3.6</b> Merma Tecnológica en la sección de filtración para las diferentes cervezas. . . . .	46
<b>Cuadro 3.7</b> Merma Tecnológica para las diferentes cervezas en todo el proceso. . . . .	46
<b>Cuadro 3.8</b> Determinación del extracto perdido por cada tanque actualmente contabilizando todas las purgas. . . . .	54
<b>Cuadro 3.9</b> Determinación del extracto perdido con recuperación de cerveza. . . . .	54
<b>Cuadro 3.10</b> Ciclos completos de purga por semana. . . . .	54
<b>Cuadro 3.11</b> Cantidad de extracto perdido por año con recuperación de cerveza. . . . .	54
<b>Cuadro 3.12</b> Cantidad de extracto perdido por año sin recuperación de cerveza. . . . .	55
<b>Cuadro 3.13</b> Estimación de la pérdida económica anual con recuperación de cerveza. . . . .	55

<b>Cuadro 3.14</b> Estimación de la pérdida económica anual sin recuperación de cerveza. . . . .	56
<b>Cuadro 3.15</b> Estimación del consumo energético mensual para el sistema de filtración a partir del consumo requerido por el equipo instalado. .	56
<b>Cuadro 3.16</b> Estimación del costo de operación del sistema a utilizar para la separación de levadura. . . . .	56
<b>Cuadro 3.17</b> Sobre los SOPs desarrollados en la empresa como parte de la Práctica Dirigida. . . . .	61
<b>Cuadro A.1</b> Datos experimentales obtenidos para la determinación del Extracto total disponible en el Afrecho . . . . .	72
<b>Cuadro A.2</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza A . . . . .	73
<b>Cuadro A.3</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza B. . . . .	74
<b>Cuadro A.4</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza C. . . . .	75
<b>Cuadro A.5</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza D. . . . .	76
<b>Cuadro A.6</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la pérdida de extracto en la purga antes del tanque buffer 1. . . . .	77
<b>Cuadro A.7</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la pérdida de extracto en la separación agua-cerveza. . . . .	78
<b>Cuadro A.8</b> Datos obtenidos en el campo para la determinación de la pérdida de extracto en el empuje final a los tanques de cerveza filtrada y pulida. . . . .	78
<b>Cuadro B.9</b> Datos intermedios obtenidos para la determinación del Extracto total disponible en el Afrecho como base húmeda y base seca . . . . .	80
<b>Cuadro B.10</b> Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de cerveza A. . . . .	81

<b>Cuadro B.11</b> Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de cerveza B . . . . .	82
<b>Cuadro B.12</b> Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de la cerveza C. . . . .	83
<b>Cuadro B.13</b> Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de cerveza D. . . . .	84



## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Equipo utilizado en la determinación del extracto en Maltas .	22
<b>Figura 2</b>	Equipo utilizado en la determinación del extracto en Afrecho	24
<b>Figura 3</b>	(Continuación)Equipo utilizado en la determinación del extracto en Afrecho . . . . .	25
<b>Figura 4</b>	Equipo utilizado en la determinación del extracto proveniente del Whirlpool . . . . .	27
<b>Figura 5</b>	Equipo utilizado en la determinación del extracto en purgas de levadura . . . . .	29
<b>Figura 1</b>	<b>Diagrama de Bloques del Proceso de producción de Cerveza y los puntos de pérdida de extracto identificados desde cocimiento hasta filtración . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2</b>	Pérdida de Extracto en Afrecho para las diferentes marcas. .	33
<b>Figura 3</b>	Pérdida de Extracto Total en cocimiento. . . . .	35
<b>Figura 4</b>	<b>Perdida de Extracto en Purgas de levadura para las Cervezas A, B, C y D . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5</b>	Perdida de extracto total en purgas de levadura para todas las cervezas. . . . .	37
<b>Figura 6</b>	<b>Perdida de Extracto en proceso de filtración para todas las marcas de cerveza . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>Figura 7</b>	Pérdida de extracto total en sección de filtración para cada marca de cerveza. . . . .	40
<b>Figura 8</b>	Pérdida de extracto total en elaboración (cocimiento-fermentación-filtración) . . . . .	41
<b>Figura 9</b>	<b>Diferencias entre la merma real y tecnológica para todas las marcas de cerveza . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>Figura 10</b>	<b>Diagramas de Pareto para determinar contribuciones a la pérdida real de extracto en todas las marcas de cerveza</b>	<b>51</b>
<b>Figura 11</b>	Flujo de caja sin recuperación de cerveza. . . . .	57
<b>Figura 12</b>	Flujo de caja con cotización (GE) . . . . .	58

<b>Figura 13</b>	Flujo de caja con cotización (BU) . . . . .	59
<b>Figura 14</b>	Flujo de caja ahorros (GE) . . . . .	59

# MARCO TEÓRICO

En este capítulo se pretende que, mediante la revisión de literatura existente y junto a la inquietud relacionada con los procesos de la producción de la cerveza, se logren formular los cimientos para la investigación posterior de interés. El trabajo de campo realizado se puede relacionar con siete temas que se expondrán a continuación, iniciando por lo que se tiene como aspectos relacionados con la historia de la cerveza y su consumo.

## 1.1. Historia de la cerveza y su consumo.

La cerveza es la bebida alcohólica más antigua de la que se tiene registro. De hecho, se dice que es tan vieja como la civilización humana. No se tiene una fecha determinada para cuando se comenzó a producir, sin embargo, se sabe que formó un papel importante en las mayores culturas del pasado. En el medio oriente y en Egipto se tienen los registros arqueológicos de la aparición de las primeras cervezas producidas. Esto significó que esta bebida tuviera un papel importante en la dieta de estas civilizaciones. Durante los años del 6000 A.C, en las ciudades de Mesopotamia, se conocía ampliamente la producción de la cerveza. En general se relacionaba su producción con la del pan. Esto debido a que ambos productos de consumo se fabrican a partir de granos, agua y levadura (Cerveceros de España, 2001).

Los griegos y los romanos aprendieron de los egipcios la producción de la cerveza, sin embargo, cuando el vino se volvió la bebida más popular y común del mediterráneo, la producción de cerveza migró al norte. En el norte, la cerveza encontró un nicho ampliamente conocido en el medievo. Esto porque la composición de la bebida, alta en nutrientes, la hacía de gran interés para los climas fríos del norte de Europa, además de representar una bebida segura de ingerir en tiempos en los que la pureza del agua de consumo humano no presentaba las mejores condiciones de higiene. El proceso de hervir el agua y las propiedades antibacteriales del alcohol, además de la introducción del lúpulo en el siglo XV ayudaron a mantener a raya los peligros de la contaminación en el alimento (Cerveceros de España, 2001).

Según la organización mundial de la salud, actualmente, la cerveza es una de las bebidas de características alcohólicas más consumida a nivel mundial. El consumo promedio de alcohol puro diario por persona es de 33 g. Esto equivale a 2 copas de vino de 150 ml, una botella de cerveza de 750 ml o dos porciones de destilado de 40 ml (Hartl y Garwood, 2018).

A nivel mundial, el 45 % del alcohol total se consume en forma de destilados, el 34 % se consume en forma de cerveza y el 12 % en forma de vinos (Hartl y Garwood, 2018) .

En el 2000, cerca de 1,700,000,000 hl (mil setecientos millones de hectolitros) de cerveza fueron ingeridos en el mundo. Un hectolitro (hl) es equivalente a 100 l (Cerveceros de España, 2001). Por otra parte, la cantidad de vino que se produjo en el 2006 fue de 280,000,000 hl, una cantidad aproximadamente 6 veces más pequeña que la de cerveza (Buiatti, 2009).

## 1.2. Composición de la cerveza

En general, todas las cervezas tienen una composición similar en cuanto a sustancias que la componen y son pequeñas diferencias en la cantidad de cada una de estas sustancias las que hacen que haya tantas clases de cerveza en cuanto a sabores y apariencia. Entre estas sustancias que las componen hay más de 800 compuestos diferentes, sin embargo, el agua forma parte de aproximadamente el 90 % de todas las cervezas. Aparte del agua, otros compuestos presentes en esta bebida que representen una concentración de más de 1 g/l son el dióxido de carbono, el glicerol y algunos carbohidratos que no fueron fermentados por las levaduras incorporadas para formar el etanol, que es precisamente otro de estos componentes (Buiatti, 2009).

Los compuestos químicos que se encuentran en la cerveza se dividen en dos grupos: los que se encontraban desde un principio en los insumos iniciales, como lo son las maltas, los lúpulos y el agua. El otro grupo que son los productos secundarios o derivados de la conversión metabólica de las levaduras, obtenidos durante la fermentación y a los cuales se les atribuye, en gran parte, el sabor distintivo de la cerveza. En el Cuadro 1. se observan las principales sustancias que componen la cerveza comercial standard y su división en cuanto a la fuente o agente de donde

proviene. Por otra parte, se observa el rango de concentración de estos compuestos, expresados en diversas unidades a conveniencia, debido al rango de valores en los que se trabaja (Buiatti, 2009).

**Cuadro 1.1.** Compuestos mayoritarios de la cerveza comercial y rangos promedio (Buiatti, 2009)

Sustancia	Concentración	Número de compuestos	Agente o fuente
Agua	90-94 (%)	1	Insumo
Etanol	3- 5 (%v/v)	1	Levaduras, malta
Carbohidratos	1-6 (%w/v)	100	Malta
Dióxido de Carbono	3.5-4.5 (g/l)	1	Levaduras, malta
Sales Inorgánicas	500-4000 (mg/l)	25	Agua, malta
Nitrógeno total	300-1000 (mg/l)	100	Levaduras, malta
Ácidos Orgánicos	50- 250 mg/l	200	Levaduras, malta
Alcoholes altos	100-300 mg/l	80	Levaduras, malta
Aldehídos	30-40 mg/l	50	Levaduras, lúpulo
Esteres	25-40 mg/l	150	Levaduras, malta, lúpulo
Compuestos Sulfurados	1-10 mg/l	40	Levaduras, malta, lúpulo
Derivados del Lúpulo	20-60 mg/l	>100	Lúpulo
Vitamina B	5.0-10 mg/l	13	Levaduras, malta

### 1.3. Variables de interés medidas en la cerveza y distintas técnicas de medición de extracto.

Vistos antes aspectos relacionados a la composición de la cerveza, se tiene que indicar que en la elaboración de este producto y su venta, legalmente se solicita que se muestren los valores de concentración de alcohol, expresados en porcentaje volumen (%v/v). Como se observa en el Cuadro 1.1, los valores típicos de cerveza están entre 3 (%v/v) y 5 (%v/v). Por otra parte, para la determinación de los azúcares disueltos y el control del proceso de fermentación y maduración se hace necesario cuantificar los grados plato ( $^{\circ}P$ ), el pH, la temperatura, la concentración de oxígeno  $O_2$  y de dióxido de carbono  $CO_2$  disueltos. Para la determinación de

los grados plato ( $^{\circ}P$ ), se utiliza la correlación de esta variable con la gravedad específica del mosto que se obtiene en el cocimiento de los cereales (Grassi *et al.*, 2014).

- pH: Algunos autores definen el pH como,  $pH = -\log[H^+]$ ; sin embargo, la definición correcta de esta expresión es:  $pH = -\log[A_H^+]$ . Ya que en realidad lo que se mide con los instrumentos es el coeficiente de actividad de los iones Hidronio disueltos en el medio de la muestra (Harris, 2007).

Donde:

- $A_H^+$ : Actividad de los iones Hidronio, adim
  - $pH$ : Potencial de Hidrógeno, adim
- Grados Plato ( $^{\circ}P$ ): Se define como la cantidad de azúcares fermentables disueltas en una solución. Esta unidad se expresa en términos de relación másica porcentual. Con base en este parámetro se monitorea el proceso de fermentación ya que conforme se consume más azúcar por parte de las levaduras, mayor será la concentración de alcohol. El proceso de fermentación se detiene cuando se alcanza el valor de grados plato mínimo deseado para la cerveza en particular. Los valores promedio de grados plato en la cerveza están entre 1 ( $\%w/v$ ) y 5 ( $\%w/v$ ). Para el trabajo en cuestión, esta variable tomará gran preponderancia ya que a partir del valor de la misma, se determinará la cantidad de extracto que se pierde en cada sección del proceso (Guercia, 2011).

Los valores de  $pH$  normales en una cerveza están entre los límites de 4,1 y 4,6. Los valores de extracto original, dependen del tipo de cerveza pero rondan entre los 13  $^{\circ}P$  y los 15  $^{\circ}P$  (Grassi *et al.*, 2014).

Técnicas de medición:

- Medición en línea de grados plato o extracto: Por medio de la medición de presión diferencial hidrostática se puede calcular la densidad del fluido

en un proceso con la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{\Delta P}{g * h} \quad (1)$$

Donde:

- $h$ : altura,  $m$ .
- $\Delta P$ : cambio en presión,  $kPa$ .
- $\rho$ : densidad,  $kg/m^3$

Se colocan dos sensores de presión en los tanques, una en la sección superior u otro en la sección inferior. A partir del cambio en la presión medido con estos y sabiendo la constante de la gravedad y la altura de la solución dentro del tanque, se puede obtener el valor de densidad de la misma. En la empresa donde se desarrolló el trabajo se cuenta con diversos medidores de extracto en línea. Estos dispositivos se utilizarán para comparar el valor que se obtenga en el proceso con el valor de las muestras recolectadas. De esta manera se tiene una referencia que asegure que los valores son similares entre sí (Guercia, 2011).

- Medición de grados plato o extracto con densímetro: Este tipo de equipos se puede dividir en dos grandes ramas.

### 1.3.1. Densímetros de inmersión

Consisten en un tubo hueco con una pesa en el fondo que se introduce en el fluido al que se le realiza la medición hasta que el fluido alcance las líneas de medición dispuestas a la altura del vástago que sobresale del tubo que contiene la pesa. Este equipo mide de manera indirecta el valor de extracto ya que, dependiendo de la concentración de azúcares fermentables en la solución, su densidad o gravedad específica también cambia (ACE, 2011). Los densímetros se calibran a ciertas temperaturas específicas (en muchos casos  $20C$ ) a las que las muestras se deben llevar. Esto se debe a que la densidad es dependiente de la temperatura y se introduciría un sesgo en la medición si no se realiza este procedimiento. En caso de no poder

realizar el cambio en la temperatura, existen tablas de corrección para distintas temperaturas que el fabricante debe suministrar. Estos equipos son más artesanales y no se utilizarán en el presente trabajo para tomar muestras de campo ya que pueden introducir muchas fuentes de error al necesitar tablas de conversión por temperatura e inclusive error por paralaje (ACE, 2011).

### **1.3.2. Densímetros digitales**

Los densímetros digitales presentan un tubo de vidrio en forma de U en el interior. Se conoce el volumen de fluido que puede albergar el tubo y se este se pone a vibrar. De acuerdo a la frecuencia de las vibraciones que se presentan en el tubo se relaciona con la masa del fluido, como un diapasón metálico que produce una nota musical de acuerdo a la masa que lo compone. A partir del volumen y la masa conocidos, se conoce la densidad. Estos equipos son los que más se utilizarán en el presente proyecto ya que dentro de su propio sistema miden la cantidad de alcohol en las muestras. Con esta información pueden brindar el valor de extracto original de la muestra (Paar, 2018).

## **1.4. Pérdida real y tecnológica de extracto**

Una vez entendidos los conceptos de composición y las variables de interés mencionadas previamente, es importante presentar las definiciones para las dos clases de pérdidas con las que se trabajará en el presente documento. De esta manera se podrá concluir dato obtenido como pérdida tecnológica de extracto representa la pérdida mínima que se podría tener en un proceso, tomando en cuenta los equipos, secuencia de pasos y estándares de procedimiento existentes. Representa un límite inalcanzable e ideal, pero concreto a partir del cual las empresas pueden determinar el rendimiento real de sus procesos. Con este valor se determina la posibilidad de cambiar la tecnología y/o procedimientos utilizados para obtener un mejor aprovechamiento de los insumos iniciales en cada sección del proceso. Este concepto se utilizó en el desarrollo del trabajo presente para determinar en qué punto fue pertinente sugerir la implementación de tecnología que lograra reducir el valor de la pérdida tecnológica. (Visscher, 2012).

Por otra parte, la pérdida real de extracto está ligada a las circunstancias o eventualidades del día a día en la confección de la cerveza. Por ejemplo, purgas o errores humanos que suceden y que se pudieron haber evitado o reducido en magnitud si el factor humano no estuviese presente. Evidentemente, es de esperar que en la pérdida real se tiene incorporado el valor de la pérdida tecnológica de extracto. Esta se define como la diferencia entre la cantidad de extracto que entra al proceso y la cantidad que abandona el proceso, dividida por la cantidad de extracto que abandona el proceso (Visscher, 2012).

## **1.5. Proceso de elaboración de la cerveza y tecnologías utilizadas.**

El proceso de elaboración de la cerveza se compone de 3 o 4 partes principales, dependiendo de cómo se agrupen los procesos que se deben llevar a cabo. En estos pasos o partes se asume que ya se cuenta con todos los insumos necesarios para la fabricación de la cerveza, como lo son la cebada convertida en malta, los adjuntos (maíz o arroz), el lúpulo y las levaduras listas para su uso. En el caso de este documento se trabajará con 4 partes generales, las cuales son: Cocimiento, Fermentación, Filtración y Envasado. Estas etapas se desarrollarán ampliamente a continuación (Roche y Garcia, 2014).

### **1.5.1. Cocimiento**

La finalidad del proceso de cocimiento es obtener, a partir de maltas, adjuntos, lúpulos y agua, el mosto. Este será el sustrato sobre el que se producirá la fermentación alcohólica, siendo las levaduras el agente de cambio. Esta sección se puede dividir en 7 subsecciones que son la molienda, la caldera de maceración, la caldera de temple, la filtración de la cascarilla, la caldera de ebullición, la clarificación de mosto y la sección de refrigeración previa a la fermentación (Roche y Garcia, 2014).

#### **La Molienda**

En este proceso, la malta es triturada para aumentar la superficie de contacto que

tendrán las secciones harinosas del grano con el agua en el proceso de maceración. También se promueve el área de contacto del grano para aumentar las reacciones enzimáticas que degradan los azúcares no fermentables. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que, en la molienda, no es recomendable obtener partículas excesivamente finas ya que, de esta manera, el bagazo se formará muy denso y compacto. Esto más adelante repercutirá en filtraciones de mosto lentas. Cabe destacar que en la cervecería no se desechan, en primera instancia, las envolturas del grano ya que estas constituirán el lecho filtrante (Roche y Garcia, 2014).

### **La maceración**

En la maceración se obtiene, a partir de las maltas, los adjuntos triturados y el agua, un líquido con todas las sustancias solubles que provienen de estos cereales. A este líquido se le llama “mosto”. Para llevar a cabo esta operación se deben seguir pasos específicos de calentamientos y enfriamientos a distintas temperaturas. Aquí las enzimas actúan desdoblado las estructuras de alto peso molecular para obtener sustancias simples que más adelante podrán ser fermentables (Roche y Garcia, 2014). Estos procesos de degradación de almidones se pueden dividir en 3 fases consecutivas de orden no modificable:

- **Gelatinización o engrudamiento:** Es característico del almidón, que en soluciones calientes de agua sus estructuras se abren para que las moléculas del agua se introduzcan en sus espirales y se rompan sus gránulos. Este comportamiento deriva en un aumento de la viscosidad, además de facilitar la posterior introducción de las enzimas amilolíticas que agilizarán el proceso de rompimiento molecular.
- **Licuefacción:** En esta fase, la enzima alfa-amilaza, rompe o corta las cadenas de glucosa que forman inicialmente la amilosa y la amilopectina. Aquí se reduce la viscosidad que en el paso anterior había aumentado.
- **Sacarificación:** En este punto, las amilasas degradan completamente el almidón a dextrinas y a maltosa. Posteriormente, las levaduras utilizarán en primera instancia la glucosa, luego la maltosa como la principal azúcar de consumo

durante el proceso de fermentación, y cuando esta se acaba, prosiguen con la maltotriosa. Las dextrinas no llegan a ser fermentadas por las levaduras.

Como se mencionó anteriormente, en la maceración se deben seguir pasos específicos de incremento y pausas de temperaturas en la mezcla de agua y malta. A estos valores de temperaturas se consigue la acción de las enzimas que deben activarse. Las pausas o interludios entre los aumentos de temperatura se deben al período en el que se dejan trabajar las enzimas (Roche y Garcia, 2014).

Estas temperaturas son:

- $45^{\circ}C - 50^{\circ}C$ : estacionamiento proteico y beta-glucano
- $62^{\circ}C - 65^{\circ}C$ : estacionamiento beta-amilasa (producción de maltosa)
- $70^{\circ}C - 75^{\circ}C$ : estacionamiento de sacarificación.
- $75^{\circ}C - 78^{\circ}C$ : estacionamiento de finalización de maceración.

### **La maceración: Incorporación de granos adjuntos**

Como se mencionó anteriormente, en algunas clases de cerveza se utilizan granos de adjuntos. Estos pueden ser maíz, en presentación de sémola y arroz en forma de secciones no enteras de grano. Los mismos que deben pasar por un proceso de cocción previo en una caldera independiente a la de las maltas ya que, al ser granos no germinados, su almidón no se llega a disolver por acción enzimática (Roche y Garcia, 2014).

En la caldera u olla de adjuntos, los granos son mezclados con agua y la mezcla es llevada a ebullición. Los granos sufren un cambio interno en la estructura de almidón. Las cadenas de amilosa y amilopectina se abren y se parten parcialmente. Se consigue de esta manera, un engrudo que luego se transforma en un fluido licuado (Roche y Garcia, 2014).

Cuando no se utilizan valores en un rango mayor de 15 % a un 20 % de cereales sin maltear, el potencial enzimático de la malta logra cumplir con las necesidades para partir el almidón de la mezcla cuando se unen las maltas con los adjuntos,

sin embargo, cuando se tiene un porcentaje mayor de granos adjuntos, se utilizan enzimas comerciales como alfa-amilasas de origen bacteriano y termo-resistentes (Roche y Garcia, 2014).

### **Caracterización del extracto**

Según Roche y Garcia (2014) el extracto que se obtiene de las maltas y los adjuntos utilizados es muy variable. Depende de la clase de cerveza que se desee fabricar con el cocimiento en cuestión o el objetivo por el cual el mosto fue preparado. Sin embargo, en muchos casos se obtiene mosto con extractos de entre 11 % y 12 %, para los cuales se tienen valores promedio de composición:

- Entre un 75 % a un 80 % de los sólidos que se vierten inicialmente en el proceso de maceración es disuelto. Lo que resta, que sería un porcentaje de entre el 20 % al 25 % es eliminado en el proceso de filtración. Este material eliminado es llamado bagazo o afrecho y está compuesto por las cascarillas y el material insoluble que compone los cereales.
- Del porcentaje de sólidos solubles que se mencionaron anteriormente, del 60 % al 65 % lo componen azúcares fermentables que se dividen en maltotriosa, maltosa, sacarosa, glucosa y fructosa.
- El restante de los sólidos solubles que sería del 35 % al 40 % es la fracción no fermentable, compuesta por dextrinas, proteínas, beta-glucanos, minerales y otros componentes minoritarios.

### **Filtración del mosto**

En la sección de cocimiento, la filtración del mosto existe para lograr un objetivo primordial, extraer el líquido sacarificado y separar el afrecho de la malta y los adjuntos. Para conseguirlo se lleva a cabo un proceso físico de filtración, ya sea en una cuba filtro o un filtro prensa, que se realiza en dos pasos. En el primero, se obtiene el llamado “primer mosto”, que presenta una alta concentración de azúcares fermentables, también se le llama “mosto denso”. El segundo paso es una serie de lavados al afrecho retenido en las placas o membranas del filtro utilizado para lograr

extraer el extracto remanente, siempre tomando en cuenta el hecho de que nunca se debe pretender obtener todo el extracto retenido ya que existe un punto donde se extraen taninos que agregan astringencia al sabor de la cerveza y esto es indeseable en la misma (Roche y Garcia, 2014).

- Cuba Filtro: Anteriormente, para la filtración del mosto se utilizaba este equipo, pero su uso ha ido disminuyendo ya que presenta tiempos de filtración altos y se debe usar molienda previamente humidificada, lo que conlleva a mayores dificultades técnicas de operación. Este equipo tiene forma cilindro-cónica con fondo plano. Tiene un fondo falso de placas con ranuras de 3 mm a 5 mm de apertura por el que se filtra el mosto y se retiene el afrecho (Roche y Garcia, 2014).
- Filtro Prensa: En este equipo la mezcla de mosto y afrecho se bombea hacia el interior de marcos huecos colocados consecutivamente formando un tren de marcos. De ahí, el mosto pasa a través de membranas o telas hacia las placas de filtración. En estas membranas se deposita, distribuido equitativamente, el bagazo retenido que funciona como lecho filtrante natural (Roche y Garcia, 2014).

Según Renger (2012) para obtener el valor del extracto total disponible (en base húmeda y en base seca) retenido en el afrecho filtrado se utilizan las siguientes fórmulas:

$$TAE(\%),_{basehmeda} = \left[ \frac{(400 - 25 + 0,25 * M - P_0) \times P}{100 - P} - P_0 \right] \times 4 \quad (2)$$

$$TAE(\%),_{baseseca} = \frac{TAE(\%),_{basehmeda}}{100 - M} \quad (3)$$

Donde:

$P$ : Contenido de extracto en el filtrado digerido.

$P_0$ : Extracto de la prueba en el blanco.

$M$ : Humedad del afrecho presecado.

Además, Renger (2012) para el cálculo del extracto soluble en base seca se utiliza la siguiente fórmula:

$$Extractosoluble \% (m/m)_{base\ seca} = \left( \frac{100}{25 - 0,25 \times M} \right) \times \left( \frac{275 + 0,25 \times M}{100 - E} \right) \times E \quad (4)$$

Donde:

$E$ : Contenido de extracto en la solución filtrada.

$M$ : Humedad del afrecho pre-secado.

### **Ebullición del mosto**

Según Roche y Garcia (2014), luego de la filtración del mosto, este se trasiega a otro equipo llamado Caldera de ebullición u Olla de mosto. En este equipo el mosto se lleva a ebullición con varios propósitos, entre ellos:

- Esterilización de microorganismos termo-resistentes. Estos se logran eliminar ya que en esta sección del proceso el mosto se encuentra a un pH de 5.2, generando un ambiente completamente hostil para estas especies.
- Se general reacciones de Maillard donde se dan caramelizaciones al interactuar proteínas con azúcares. Esto conlleva a la generación de compuestos que agregan aroma, sabor y color al producto.
- En esta sección se agrega el lúpulo para que se extraigan todos sus aromas y sabores amargos característicos de la cerveza.
- Se eliminan compuestos volátiles indeseables y se destruyen las enzimas que se agregaron en el proceso de maceración.
- A partir del proceso de la ebullición se logran estabilizar algunos coloides que se forman por la coagulación de materias nitrogenadas. Estas, al ser sometidas a un ambiente térmico, sufren este comportamiento de coagulación. Los coágulos posteriormente se eliminarán en el paso de clarificación de mosto. Esto se debe a que la materia coagulada puede afectar el correcto proceso de fermentación.

### Clarificación de mosto

En esta sección se separa la materia que enturbia el mosto y que se produjo en la sección de ebullición anterior. Este turbio está compuesto de un 50 % de proteínas, 30 % polifenoles y 20 % de otras sustancias. El principio de funcionamiento de este equipo es generando un remolino que provoca que las partículas sólidas en suspensión migren hacia el centro y el fondo de la olla del clarificador. En inglés este equipo recibe el nombre de Whirlpool. Este efecto de vórtice o remoline se genera al introducir el mosto caliente por medio de una corriente tangencial a las paredes de la olla (Roche y Garcia, 2014).

Según Renger (2012) para obtener el valor de concentración de extracto en kilogramos por hectolitro en un volumen de mosto a partir del valor de grados plato se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = 0,0012177503 + 0,99886954 \times D_1 + 0,0037809596 \times D_1^2 + 0,00001719986 \times D_1^3 \quad (5)$$

Donde:

$A$ : concentración de extracto en mosto remanente (kg/hl)

$D_1$ : grados plato del mosto, °P

La masa de extracto total perdido en el Whirlpool se obtiene al sumar los componentes de masa X, Y y Z que se definirán a continuación. La X representa la masa de extracto perdida en el volumen de mosto remanente, la Y representa la masa de extracto perdida en el Trub seco y la Z representa la masa de extracto lavable perdida que se encontraba retenida entre el Trub.

$$X = \frac{V_1 \times A}{100} \quad (6)$$

$$W_3 = W_2 - W_1 \quad (7)$$

$$B = W_4 - W_0 \quad (8)$$

$$Y = \frac{WT \times B}{10} \quad (9)$$

$$C = 0,0012177503 + 0,99886954 \times D_2 + 0,003780596 \times D_2^2 + 0,00001719986 \times D_2^3 \quad (10)$$

$$Z = \frac{WT \times C}{10} \quad (11)$$

Donde:

$V_1$ : volumen remanente de mosto, l

$A$ : concentración de mosto remanente, kg/hl

$W_1$ : masa del Erlenmeyer limpio y seco, g

$W_2$ : masa del Erlenmeyer con solución lavada del trub, g

$B$ : masa de extracto sobre materia seca, g

$C$ : masa de extracto lavable en el trub, g

$W_0$  : masa del papel filtro, g

$W_4$ : masa del papel filtro con trub seco, g

$W_T$ : masa total de trub húmedo

$B$  masa de extracto sobre materia seca, g

$C$ : concentración de mosto retenido en trub, (kg/hl)

$D_2$ : extracto en solución filtrada, °P

$W_T$ : masa total de trub húmedo

$C$ : concentración de mosto retenido en trub, (kg/hl)

## Enfriamiento de mosto

Se utilizan intercambiadores de placas para reducir la temperatura del mosto hasta un rango de valores que oscila los  $6^{\circ}\text{C}$  y los  $10^{\circ}\text{C}$ . Por el otro lado de las placas se utiliza agua o glicol frío para lograr la disminución. A partir de ahora se deberá tener extremo cuidado en la manipulación del mosto y cualquier material o herramienta que se utiliza en el proceso ya que, al disminuir la temperatura, existe el riesgo de proliferación de microorganismos perjudiciales para las levaduras y la cerveza en general (Roche y Garcia, 2014).

### 1.5.2. Sección de Bodegas Frías o Cellars

#### Fermentación

El mosto clarificado y enfriado a  $9^{\circ}\text{C}$  se trasiega a los tanques de fermentación y al mismo tiempo se bombea un inóculo de levaduras que realizarán el proceso en cuestión. La clase de tanques más utilizados tienen una geometría cilíndrica en la sección superior y cónica en la inferior, por lo que se les llama tanques cilindro-cónicos (TCC). Esta característica permite muchas ventajas si se compara con otras tecnologías, por ejemplo, alto volumen útil de fermentación, baja pérdida de cerveza en las purgas, facilidad para el control de temperaturas con chaquetas de enfriamiento y aplicación de  $\text{CO}_2$  a presión (Briggs y Stevens, 2014).

En estos tanques sucede el proceso donde las levaduras consumen los azúcares fermentables que se obtuvieron de las maltas y adjuntos y posteriormente se da la maduración de la cerveza. Desde el día en que se llena un tanque con mosto hasta el día de su vaciado con cerveza transcurren entre 21 y 22 días. En un inicio, las levaduras consumen el oxígeno disuelto en el mosto y por medio de respiración aeróbica, aumentan la biomasa. Cuando se consume todo el oxígeno, estos microorganismos cambian su metabolismo para sobrevivir en el ambiente anaeróbico que los rodea. A partir de ahora forman etanol y dióxido de carbono hasta consumir casi todo el extracto que en un inicio existía en el mosto (Briggs y Stevens, 2014).

Siempre se deja un pequeño porcentaje de extracto en la cerveza fermentada ya que es el factor que le da cuerpo y características únicas a cada tipo de cerveza (Reed y Nagodawithana, 2012). Cuando el proceso de fermentación se detiene, se

purgan las levaduras por el fondo de los tanques cilindro-cónicos y se deja por 3 días la cerveza en el proceso de maduración previo a la filtración. Para realizar estas purgas se debe reducir la temperatura de los tanques para facilitar el proceso de sedimentación con el que se clarifica la cerveza (Reed y Nagodawithana, 2012).

### **Filtración**

En esta sección del proceso se trasiega la cerveza de alta gravedad (con alto contenido de alcohol) hasta un sistema de filtración con tierras diatomeas o “Kieselguhr”. Generalmente se tiene una tasa de consumo de tierras de aproximadamente 140 g/hl. La tecnología más utilizada de filtración es la de bujías donde se forma una pre-capa de diatomeas para luego iniciar el proceso de filtración de cerveza. En estas bujías van quedando restos de levadura que no se logró remover en las purgas. También se retienen complejos coloidales formados entre las proteínas y polifenoles que contiene la bebida por las características naturales de sus ingredientes (Roche y Garcia, 2014).

Posteriormente se utilizan filtros estabilizadores de cerveza donde se terminan de remover todos los compuestos que enturbian el producto y así se consigue una bebida brillante (en inglés Bright Beer o BB). Para estos equipos se utiliza una capa de Silicagel o PVPP (polivinyl-pirrolidina). Este proceso de abrillantamiento favorece la vida de estante del producto ya que el consumidor prefiere una cerveza clara a una donde se formen velos opacos dentro de la botella. Finalmente, la cerveza se envía a la sección de pasteurización y embotellamiento para luego ser distribuida (Roche y Garcia, 2014).

### **1.5.3. Proceso de desalcoholización**

Según el decreto ejecutivo *N* 38413 (2014) un producto desalcoholizado es todo aquel que presente un contenido de alcohol menor o igual al 0,5 % en volumen. Por esta razón, en este proceso se obtiene cerveza con esa característica. El proceso de desalcoholización utilizado en la empresa consiste en una destilación de alcohol al vacío acoplada a un evaporador. La cerveza se produce inicialmente con bajo contenido de alcohol a partir de un tratamiento especial desde el cocimiento de maltas y posteriormente en la fermentación. En primera instancia, esta se calienta

para des-gasificarla y luego transita a través de una columna empacada donde el líquido que desciende es cerveza, inicialmente con alcohol y el vapor que asciende es cerveza a la que ya se le ha removido cierta parte del alcohol en la misma torre y que luego se envía al evaporador para la remoción final del etanol. Esos vapores que ascienden son una fracción de la cerveza desalcoholizada que se vuelve a inyectar al proceso de destilación. Finalmente, se vuelve a carbonatar la cerveza y se enfría para su posterior almacenamiento (Mangelsen, 2015).

## **1.6. Cálculo del valor actual neto de una inversión.**

Dentro de los objetivos del proyecto está sugerir la implementación de un equipo o proceso que logre reducir la pérdida prevenible de extracto, una vez identificados los diferentes puntos en donde se tienen pérdidas de extracto y la magnitud de esa pérdida. Una vez que se sugiera un cambio, de igual manera se propone realizar un ejercicio de costo y oportunidad. Después de este ejercicio se logrará determinar si es conveniente o no cambiar el proceso e instalar un equipo nuevo. Para concretar el análisis antes mencionado en este proyecto, se propone utilizar el concepto de valor actual neto (VAN) (Bernanke y Frank, 2018).

Cuando se intenta calcular el valor de una inversión en una empresa se toman en cuenta los beneficios que esta inversión tendrá en el futuro. Estos beneficios siempre valdrán menos en el futuro que lo que valdrían si se obtuvieran hoy (Bernanke y Frank, 2018). A través de esta ecuación se obtendrá el valor de la inversión del proyecto a cinco años plazo desde el año cero en el que se realiza la inyección de capital. El VAN también se puede entender como la suma de ingresos y egresos que tiene un proyecto en el tiempo. Es por esto que se interpreta como el valor que en el futuro tendrá el proyecto. A partir de este valor se pueden tomar decisiones en términos de la rentabilidad de la inversión en el futuro. El inconveniente de utilizar, sólomente este valor, es que no se tiene un marco de referencia para comparar y decidir si el proyecto es rentable o no. Es por eso que se utilizará el valor de tasa interna de retorno el cual se explicará más adelante (Carlberg, 2006).

Según Bernanke y Frank (2018), para calcular ese valor actual neto se utiliza la ecuación:

$$VA = \frac{M}{(1+r)^\tau} \quad (12)$$

Donde:

- $VA$ : Valor Actual, \$.
- $M$ : Valor inicial, \$.
- $r$ : Tasa de interes, adim.
- $\tau$ : Periodo de tiempo del proyecto, años.

## 1.7. Tasa interna de retorno.

Con el punto expuesto anteriormente y en el presente, se pretende definir estos conceptos con el fin de valorar la viabilidad de una inversión económica en un proyecto sugerido, velando por que el producto final, obtenido al culminar el proceso, no presente cambios en su naturaleza. En consecuencia, se quiere concluir mencionando que el valor describe numéricamente la rentabilidad o tasa de interés que una inversión podría ofrecer si el proyecto sigue en pie luego de un período de tiempo definido inicialmente. Estos valores pueden ser meses, años o cualquier unidad de tiempo donde se cierren ciclos económicos de interés. Esta medida es utilizada frecuentemente cuando se desea evaluar un proyecto y su cálculo se encuentra estrechamente ligado al del valor actual neto (VAN) de un proyecto. En general, el TIR es el valor de la tasa de descuento que haría el VAN igual a cero en el proyecto en cuestión. Esto significa que es el porcentaje de ganancia que se ha obtenido, en comparación con la inversión inicial, cuando los ingresos y egresos son iguales a cero en un período límite de tiempo establecido. (Carlberg, 2006).

Según Carlberg (2006), también se interpreta el TIR como un indicador relativo de la rentabilidad del negocio. Esto significa que está expresada en porcentaje. La expresión matemática que describe el cálculo de este porcentaje se observa en la ecuación 13:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (13)$$

Donde:

$F_t$ : flujos de dinero en cada año t

$I_0$ : inversión inicial

Cuando se obtiene el valor del TIR, se compara con la rentabilidad que se conseguiría si se invierte ese mismo capital en otro proyecto en el mismo plazo de tiempo. De esta manera se decide si el proyecto es de interés para los inversionistas, o no.

De esta manera se concluye el apartado para el marco teórico. Una vez definidos los conceptos necesarios para que el lector tenga una referencia teórica con la cual entender el desarrollo de este trabajo, se procederá a explicar la metodología con la que se obtuvo la información en el campo y con la que se pretenden concluir los objetivos del proyecto.



# METODOLOGÍA

## 2.1. A. Metodología experimental para la determinación de extracto en Maltas.

En esta sección de la metodología se describe el procedimiento requerido para determinar el extracto aparente y real que contienen las maltas. A través de esta metodología se consiguió la información de la cantidad de extracto que ingresó al proceso en un inicio.

### 2.1.1. Determinación de Humedad.

Se tomaron muestras de la malta utilizada como insumo inicial en la preparación de la cerveza. La muestra se molió a través de un molino DLFU como el observado en la Figura 1a, con una apertura de  $0,2\text{ mm}$ . Se determinó la humedad que contenía la malta con una balanza de humedad. Por duplicado se pesan ( $50,00 \pm 0,05$ )  $g$  en un beaker de maceración, utilizando una balanza granataria como la de la Figura 1c.

### 2.1.2. Maceración.

Utilizando un macerador como el de la Figura 1b, se atemperó el baño a  $45^{\circ}C$  para luego introducir los beakers de maceración y se incorporaron  $200\text{ ml}$  de agua a  $45^{\circ}C$  dentro de los mismos. También activaron las paletas mezcladoras y la temperatura se mantuvo estable por  $30\text{ min}$  a  $45^{\circ}C$ . Pasados los  $30\text{ min}$ , se aumentó la temperatura del baño a razón de  $1^{\circ}C/\text{min}$  por  $25\text{ min}$ . Cuando se alcanzaron los  $70^{\circ}C$  se agregaron  $100\text{ ml}$  más de agua y se mantuvo el baño a esta temperatura por 1 hora. Se enfrió la maceración a temperatura ambiente con agua fría. Se enjuagaron las paletas de mezclado con agua destilada, se secó el exterior de los beakers de maceración y se ajustó la masa de la mezcla a  $450 (0,1)\text{ g}$  con más agua destilada. Se agitó el contenido de los maceradores y se vertió su contenido en el papel filtro para acumular el filtrado en una probeta. Seguidamente se detuvo la filtración cuando la torta se observó seca o después de 2 h de filtrado, según el caso.

Se enviaron muestras por duplicado para cada recipiente macerador y se analizaron en el medidor de extracto, como el observado en la Figura 1d para obtener el valor de extracto aparente.

### 2.1.3. Equipo utilizado para la determinación de extracto en maltas



(a). Molino de discos



(b) Macerador de Laboratorio



(c) Balanza Granataria



(d). Anton Parr

**Figura 1.** Equipo utilizado en la determinación del extracto en Maltas

## **2.2. Metodología experimental para la determinación de extracto en afrecho.**

En esta sección se describe el procedimiento que se le realiza a las muestras recogidas en las tolvas del filtro de prensa donde se descarta el afrecho húmedo que contiene extracto. Al finalizar el procedimiento, se obtuvo el valor de extracto en kilogramos que se perdió por cada cocimiento.

### **2.2.1. Preparación de Muestras.**

Se mezcló la muestra de afrecho con el fin de homogeneizarlo. Se realizó un presecado a  $60^{\circ}C$  en un horno como el de la Figura 2a durante al menos 12 horas y se determinó la humedad en la balanza de humedad. El afrecho presecado fue molido en un molino como el de la Figura 3a, tipo DLFU a  $0,2mm$  división de escala (regulación para molienda fina).

### **2.2.2. Determinación del extracto total disponible.**

Se pesaron, en una balanza granataria como el de la Figura 3b ( $25,00 \pm 0,05$ )g de afrecho seco y molido en una copa de maceración previamente pesada. Se adicionaron  $350 ml$  de agua destilada, Alfa Amilasas,  $10,2 ml$  de solución de cloruro de calcio y mezclar. Luego se calentó la mezcla sin deja de remover durante 10-15 minutos en un macerador como el de la Figura 3c hasta lograr la ebullición en un calentador. Se coció la mezcla durante 15 minutos sin dejar de remover. Posteriormente se dejó enfriar la muestra a  $46^{\circ}C$  en un baño de maceración y se adicionaron Alfa Amilasas y Beta Amilasas.

La temperatura se mantuvo a  $45^{\circ}C$  por 30 minutos exactamente y luego se incrementó la temperatura a  $1^{\circ}C$  por un minuto hasta llegar a  $70^{\circ}C$  y se mantuvo esta temperatura por 60 minutos. Luego se volvió a enfriar la mezcla en el macerador con agua a temperatura ambiente por un tiempo de 10 a 15 minutos. Se ajustó la mezcla en el recipiente macerador a  $400g$  utilizando agua destilada para llegar a ese peso. Se agitó el contenido de la copa de maceración y se filtró inmediatamente. Los primeros  $100ml$  de filtrado se retornaron para ser filtrados nuevamente.

La filtración se detuvo después de 2 horas o cuando se observó la torta deshidratada. Para realizar el cálculo de corrección que se utilizó en la Ecuación 2 se realizó una muestra blanco. A esta se le determinó el extracto aparente con el equipo como el de la Figura 3d para determinar el extracto.

### 2.2.3. Determinación del extracto soluble.

Se pesaron  $(25,00 \pm 0,05)g$  de afrecho pre-secado y molido en una copa de maceración previamente pesada. Luego se adicionaron 250 ml de agua destilada previamente a  $70^{\circ}C$  ( $1^{\circ}C$ ) al afrecho y se mezclaron. La temperatura se mantuvo a  $70^{\circ}C$  por exactamente 60 minutos. La mezcla se dejó enfriar en el macerador con el agua a temperatura ambiente alrededor de 10 minutos. Luego se ajustó la mezcla a  $(300,0 \pm 0,1)g$  utilizando agua destilada. El contenido de la copa de maceración se agitó y filtró inmediatamente. Los primeros 100ml del filtrado retornaron para ser filtrados nuevamente. Finalmente, la filtración se detuvo después de 2 horas o cuando se observó que la torta se encontraba deshidratada para determinar el extracto aparente de la muestra.

### 2.2.4. Equipo utilizado para la determinación de extracto en afrecho



(a) Horno con Reflujo de Aire



(b) Balanza de Humedad

**Figura 2.** Equipo utilizado en la determinación del extracto en Afrecho



(a). Molino de discos



(b) Balanza Granataria



(c) Macerador de Laboratorio



(d). Anton Parr

**Figura 3.** (Continuación) Equipo utilizado en la determinación del extracto en Afrecho

### 2.3. Metodología experimental para la determinación de extracto en la torta de trub proveniente de la olla de Whirpool.

En esta sección de la metodología se describe el procedimiento que se llevó a cabo para obtener los kilogramos de extracto que se perdieron en la formación del trub en la olla de whirpool. Este valor se obtuvo a partir de muestras de trub conseguidas luego de 6 horas de enfriamiento en el Whirpool. Dos personas entraron al equipo y tomaron el mosto remanente en un recipiente. Se calculó, a partir de aquí, el volumen

total de mosto remanente ( $V_1$ ), en litros. Luego se tomaron aproximadamente  $500ml$  de mosto remanente en un Erlenmeyer de  $500ml$ . Posteriormente se colocó el trub en un balde y este se pesó en una balanza granataria como la de la Figura 4a. Se repitió este procedimiento hasta abarcar la totalidad del trub remanente en el whirpool. Este valor es ( $W_T$ ), en kg.

Se verificó que el trub no se separara en el envase. Esto se debe a que se necesitó tomar una muestra de  $100g$  de mezcla homogénea en un beaker de  $100ml$ .

### 2.3.1. Preparación de las muestras.

Se utilizó un papel filtro, tipo *SS 597 1/2; D185mm* en un plato Petri. Se removió la tapa del plato y se colocó en un horno como el observado en la Figura 4b precalentado a  $105^\circ C$  por 3 horas una vez alcanzada la temperatura requerida. Luego de este tiempo se colocó la tapa del plato y se removió del horno. Se dejó enfriar en un desecador por 20 min a temperatura Ambiente. Se pesó el papel filtro inmediatamente y se obtuvo ( $W_0$ ), en g.

### 2.3.2. Medición de extracto.

El mosto remanente se filtró a través del papel filtro tipo 41b. El contenido de extracto medido con el equipo medidor de extracto como el observado en la Figura 4c se utilizó como el valor de extracto aparente, AE ( $D_1$ ) en  $^\circ P$ . Se pesaron  $10g$  de trub húmedo ( $0,01$ ) g en un beaker de  $100ml$ . Luego se pesó un Erlenmeyer limpio y seco de  $500ml$  ( $0,01$ ) g ( $W_1$ ). Posteriormente, se colocó el papel filtro en un embudo sobre el Erlenmeyer pesado y se enjuagó el trub húmedo usando agua destilada. De esta solución filtrada se tomaron aproximadamente  $300ml$ .

Luego de enjuagar se repesó el Erlenmeyer ( $W_2$ ) para conocer el peso de la solución filtrante. Y posteriormente se determinó el peso de la solución filtrada  $W_3 = W_2 - W_1$ , en g. El contenido de extracto en la solución filtrada se determinó por medio del equipo medidor de extracto. Se colocó el papel filtro con el trub enjuagado dentro del plato Petri. Se removió la tapa del plato y se colocó dentro del horno precalentado a  $105$  durante la noche. Luego de esto se colocó la tapa del plato y se removió del horno. Se dejó secar en el desecador por 20 min a temperatura ambiente

y se pesó el papel filtro inmediatamente ( $W_4$ ) g.

### 2.3.3. Cálculo para obtener extracto total en kilogramos de mosto perdido por cocimiento.

La relación utilizada fue de 10g de trub húmedo que tenían (B g) de extracto sobre materia seca y el trub total húmedo ( $W_T$ ) que tenían (Y kg) de material seca. Por otra parte, 10g de trub húmedo tenían (C g) de extracto lavable y el trub total húmedo ( $W_T$ ) tenía (Z kg) de extracto lavable. Finalmente, el extracto total perdido en Whirlpool fue la suma de X kg, Y kg y Z kg para un cocimiento.

### 2.3.4. Equipo utilizado para la determinación de extracto en Whirlpool



(a) Balanza Granataria



(b) Horno con Reflujo de Aire



(c). Anton Parr

**Figura 4.** Equipo utilizado en la determinación del extracto proveniente del Whirlpool

## 2.4. Metodología experimental para la determinación de extracto perdido en las purgas de levadura.

En esta sección de la metodología se describen los pasos seguidos para obtener el valor del extracto perdido durante las purgas de levadura que se realizaron en los tanques cilindro cónicos.

Antes del inicio de la purga se colocó el contador de flujo en cero. Luego se tomaron muestras de la purga mientras esta atravesaba las tuberías que llevan al colector de levadura de desecho. Estas muestras se tomaron a través del mecanismo que tienen las tuberías para tal fin. Posteriormente, se colocaron muestras de levadura en los recipientes de la centrífuga como la de la Figura 5a, previamente pesados. Los recipientes se llenaron hasta el tope y se midió el volumen  $V_{Total}$  total y la masa del recipiente lleno  $M_{Lleno}$  de muestra. Luego del proceso de separación en la máquina centrífuga se cuantificó la masa de levadura separada  $M_{levadura}$ . A partir de esta información se obtuvo la relación de kilogramos de levadura por hectolitro de purga.

Cuando se detuvo el proceso de purga en los tanques cilindro-cónicos, se detuvo el contador de flujo y se obtuvo el valor de volumen purgado de levadura. Con este valor y la relación de kilogramos de levadura por hectolitro de purga se consiguió la masa de levadura extraída durante la purga. De esta manera se repitió el procedimiento para todas las purgas que se efectúan antes de que la cerveza esté lista para el proceso de filtración. Finalmente, se obtuvo el valor total de levadura generada en el proceso. Con esta información se estableció la cantidad de extracto perdido como consecuencia de la cerveza retenida en las purgas y de la generación de levadura en el proceso de fermentación.

A la muestra de levadura mezclada con cerveza se le realizó una medición de humedad en la balanza de humedad como la de la Figura 5b para obtener el valor de porcentaje promedio de materia seca en levadura producida y a la muestra de levadura separada de la cerveza en la máquina centrífuga también se le realizó la medición de humedad en la misma balanza de humedad para obtener el valor de contenido en peso seco de levadura con consistencia del 100 %.

### 2.4.1. Equipo utilizado para la determinación de extracto en purgas de levadura



(a). Centrífuga de laboratorio



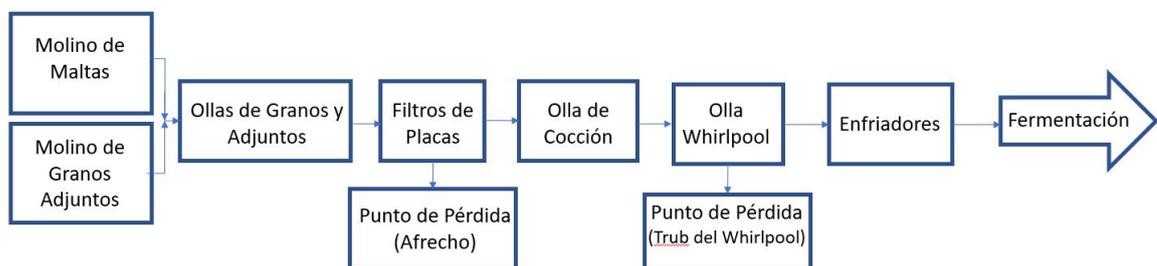
(b). Balanza de Humedad

**Figura 5.** Equipo utilizado en la determinación del extracto en purgas de levadura

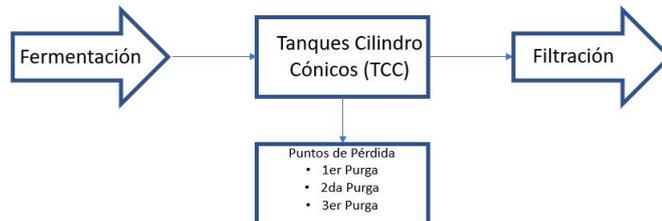


# ANÁLISIS DE FUENTES DE PÉRDIDA Y OPORTUNIDADES DE MEJORA

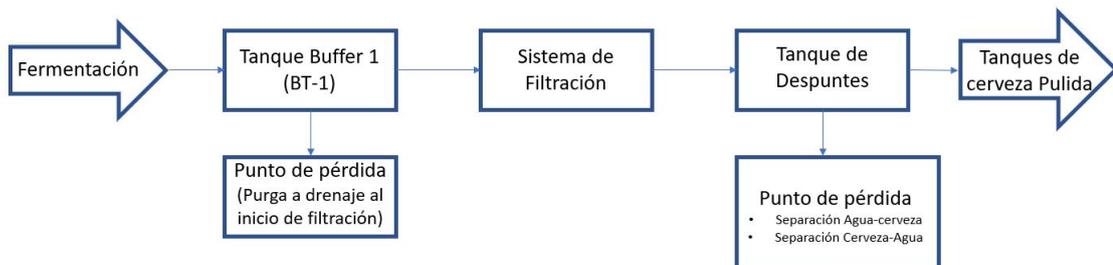
Con el fin de iniciar el análisis de resultados se procederá a describir el proceso de producción de cerveza mediante el diagrama de bloques simplificado que se observa en la Figura 1. En estos diferentes diagramas se localizan los puntos de donde se tomaron las muestras para el análisis de la pérdida de extracto real.



(a). Diagrama de bloques para la sección de Cocimiento



(b). Diagrama de bloques para la sección de Fermentación



(c). Diagrama de bloques para la sección de Filtración

**Figura 1. Diagrama de Bloques del Proceso de producción de Cerveza y los puntos de pérdida de extracto identificados desde cocimiento hasta filtración**

En la sección de cocimiento, como se observa en la Figura 1a, las maltas y los granos adjuntos (cereales) utilizan molinos separados. Estos molinos cuentan con sistemas de circulación de polvo para reducir al máximo las pérdidas de extracto. Posteriormente, la molienda se traslada a las ollas donde suceden los procesos de

transformación para la generación de azúcares fermentables. Luego, la mezcla de mosto y afrecho se mueve al filtro de placas donde se retiene trub y afrecho que luego es depositado en las tolvas de afrecho. Este es el primer punto localizado de pérdida de extracto donde se tomaron muestras del mencionado afrecho. Luego del filtro, el mosto se trasiega a la olla de cocción donde se reduce el volumen de agua y posteriormente se lleva el mosto a la olla whirlpool donde se elimina una importante cantidad de trub. Este es el segundo punto identificado de pérdida de extracto. Entre el trub también se retiene mosto que se cuantificará como pérdida de extracto. Finalmente el mosto es empujado a los enfriadores que llevarán al proceso de fermentación.

En la Figura 1b se observa el diagrama simplificado para el proceso de la fermentación. En este proceso se identifican tres pérdidas de extracto, definidas como purgas de levadura, que suceden en diferentes puntos del proceso de fermentación. Al finalizar esta etapa la mayoría de la levadura ha sido removida y la cerveza queda lista y madura para ser sometida al proceso de filtración.

En la Figura 1c se observa el diagrama de bloques para el proceso de filtración. Inicialmente, en la filtración se llena el tanque Buffer 1 que almacena una reserva de cerveza mezclada con levadura, sin embargo, para el eliminar la mayor cantidad de levadura que pueda bloquear el filtro rápidamente, se realiza una purga de cerveza mezclada con levadura. Esta purga es la cabeza del empuje que viene del tanque de fermentación. Una vez que se tiene un bajo conteo de levadura en el flujo, se cierra el camino al drenaje y se inicia la filtración.

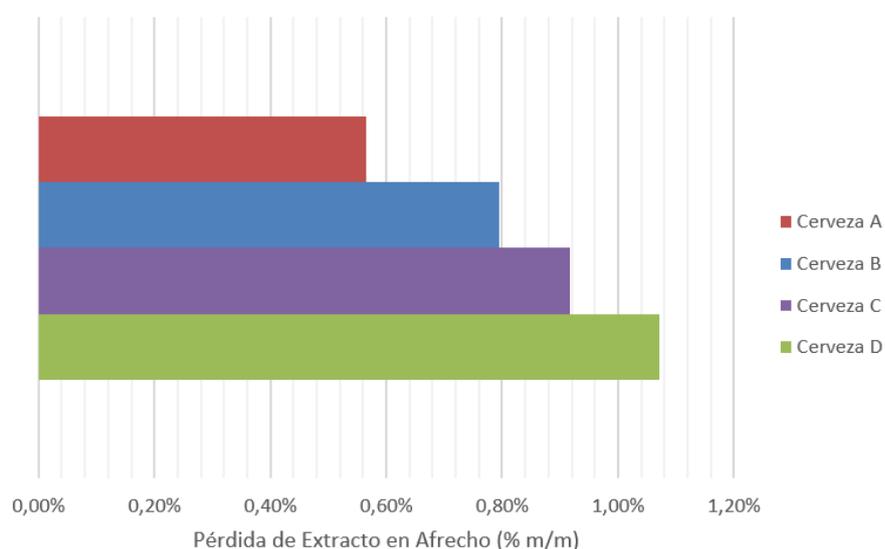
Las líneas de filtración siempre están llenas de agua, por lo que se debe realizar un empuje al caño para eliminar el agua de las líneas y llenar las mismas con cerveza. En este proceso, se pierde extracto debido a que, en algún momento, la mezcla de cerveza y agua se vierte al caño. Finalmente, se tiene una última fuente de pérdida. Esta se da cuando concluye la filtración y se deben llenar las líneas con agua, empujando la cerveza que haya quedado inicialmente.

Para analizar el comportamiento de las diferentes marcas de cerveza se describirán algunas características generales de las mismas. La cerveza A es una cerveza de bajo contenido de extracto, sólo se utilizan maltas en su confección y posee un contenido

alcohólico bajo. Para la cerveza B, se tiene un contenido de extracto medio, se utilizan maltas y cereales adjuntos en su confección y es la que posee el contenido alcohólico mayor. Para la cerveza C, se tiene un contenido de extracto medio, se utilizan maltas y cereales adjuntos en su confección y posee un contenido alcohólico menor a la cerveza B, pero mayor a la A y D. Para la cerveza D, finalmente, se utilizan fuentes líquidas de extracto, a parte de maltas, pero no cereales y su contenido alcohólico es mejor al de la cerveza C, pero mayor al de la cerveza A.

### 3.1. Cuantificación de la pérdida real de extracto en sección de cocimiento y en la sección de bodegas frías.

Como se comentó anteriormente, luego del análisis del proceso, se identifica el primer punto de pérdida en el afrecho proveniente de la filtración por placas. En el afrecho permanece retenida una cantidad importante de extracto entre las cascarillas de la malta molida. En la Figura 2 se observan los valores para las cuatro marcas de cerveza analizadas.



**Figura 2.** Pérdida de Extracto en Afrecho para las diferentes marcas.

Se tiene que la cerveza A es la que menor y la D es la que mayor cantidad de extracto perdido muestra en esta sección. Este comportamiento se puede explicar con relación a la materia prima utilizada como receta para cada marca.

En la cerveza A se utilizan solamente maltas para su confección mientras que para la cerveza D se utiliza una fuente líquida de extracto a parte de las maltas como materia prima. El extracto proveniente de la fuente líquida puede quedar atrapado entre el material insoluble de la cascarilla, generando una mayor pérdida de extracto. Por otra parte, en las cervezas en las que se utiliza una combinación de granos adjuntos y maltas ( B y C ) , se obtienen pérdidas intermedias de extracto en comparación con las cervezas A y D. Los granos adjuntos presentan menor cantidad de material insoluble. Esto se debe a que en el paso previo a la combinación con las maltas, se utilizan enzimas especializadas y temperaturas mayores que convierten la mayor cantidad de azúcares complejas del almidón en azúcares solubles. Esto vuelve a los procesos que utilizan los granos adjuntos un método más directo para la producción de extracto utilizable.

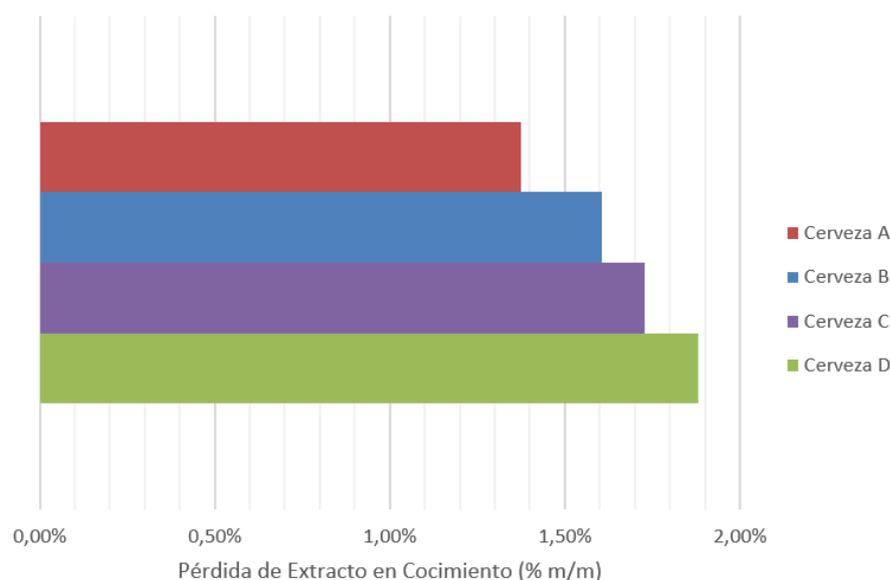
La segunda sección identificada como punto de pérdida en cocimiento fue en la olla tipo Whirlpool. En este equipo se forma la torta de precipitado llamado Trub. Para esta parte del proceso solamente se pudo analizar un tipo de cerveza, la cerveza D. Esto se debió a las características de la programación de la producción dentro de la empresa. La marca de cerveza D siempre es la última en producirse semanalmente, antes de comenzar el proceso de limpieza de los equipos. Dentro de la metodología para el muestreo en este punto, se debe esperar a que la olla Whirlpool se enfríe, ya que se debe ingresar a la misma a tomar las muestras. Por esta razón y para no detener la cadena de producción, se aprovechó el paro semanal de la planta para realizar este muestreo y cuantificar la pérdida de extracto en el Trub; como se observa en el cuadro 3.1. Merma en formación del Trub en Whirlpool (Caso Cerveza D).

**Cuadro 3.1.** Datos promedio de extracto en la salida del Whirlpool y cantidad perdida en la torta, así como el porcentaje de pérdida de extracto aportado por el Whirlpool.

Extracto de salida del Whirpool (kg)	12619.85
Extracto perdido en el Whirpool (kg)	97.76
Perdida de extracto en Trub por cada cocimiento (%)	0.81

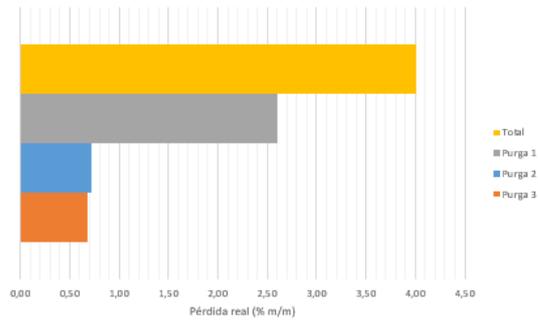
En la Figura 3 se tienen los aportes anteriormente mencionados para la

pérdida en el Afrecho y la pérdida en el Whirlpool. Cabe destacar que se observó el mismo comportamiento en la pérdida de extracto acumulado donde las cervezas C y D presentan mayor pérdida de extracto por las razones anteriormente explicadas para la pérdida de Afrecho.

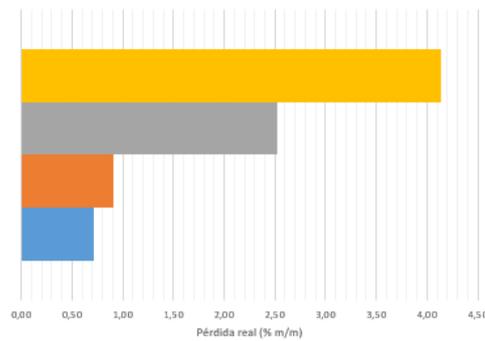


**Figura 3.** Pérdida de Extracto Total en cocimiento.

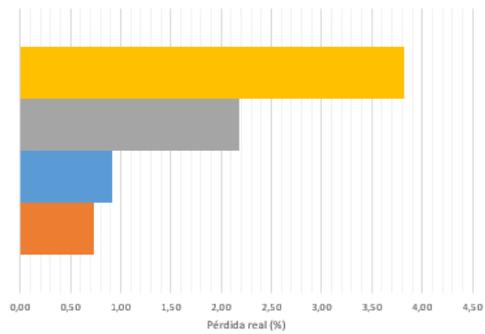
Como se mencionó al inicio, la siguiente sección del proceso donde se identificaron posibles fuentes de pérdidas de extracto es donde se da la fermentación del mosto. En esta sección se produce el alcohol por la acción biológica de las levaduras. Se determinó que la causa de pérdida de extracto en esta parte del proceso se debe a las purgas de levadura que se realizan durante el proceso de la fermentación. En general, como se observa en la Figura 4, se tienen 3 purgas de levadura. La primera purga de levadura es la más importante en todas las marcas de cerveza. Con importante se entiende como la de mayor volumen y por lo tanto mayor pérdida de extracto. Conforme se avanza en las diferentes purgas que se llevan a cabo, la concentración de levadura dentro del tanque de fermentación disminuye hasta alcanzar los niveles mínimos requeridos para para a la etapa de maduración dentro de los mismos tanques donde se fermentó.



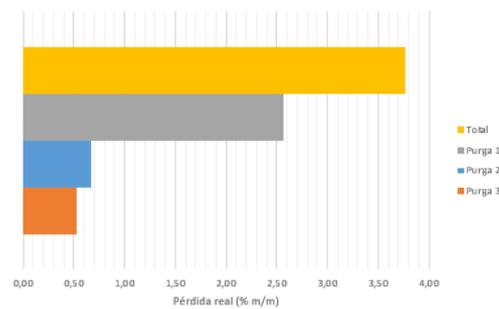
(a). Pérdida de Extracto en Purgas de levadura para la Cerveza A



(b). Pérdida de Extracto en Purgas de levadura para la Cerveza B



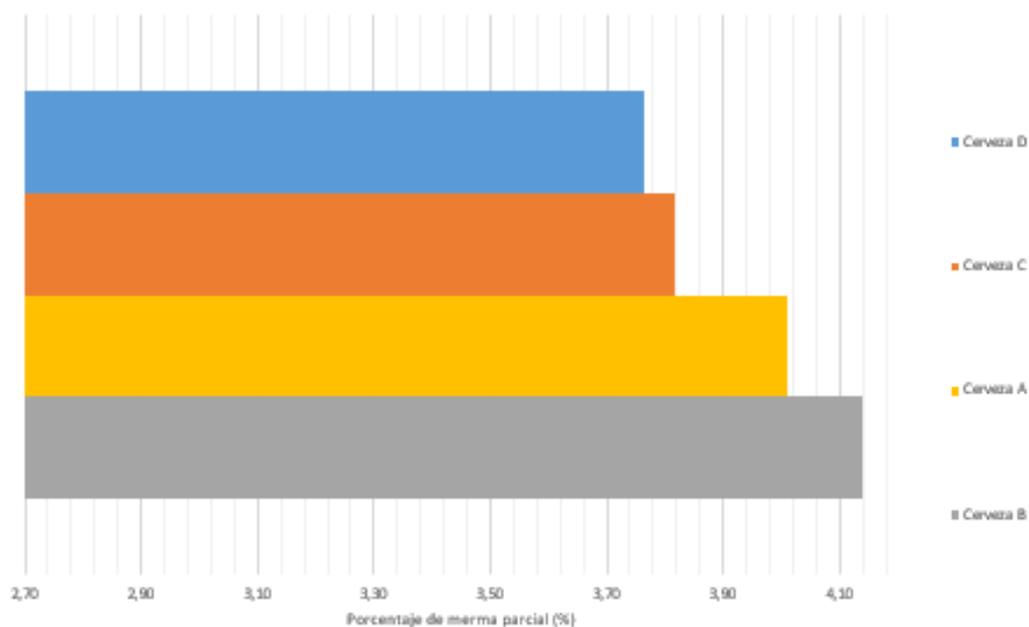
(c). Pérdida de Extracto en Purgas de levadura para la Cerveza C



(d). Pérdida de Extracto en Purgas de levadura para la Cerveza D

**Figura 4. Perdida de Extracto en Purgas de levadura para las Cervezas A, B, C y D**

Finalmente, en la figura 5, se tiene un acumulado total de pérdida de extracto para todas las marcas de cerveza que va desde el 3.77 % (m/m) hasta el 4.14



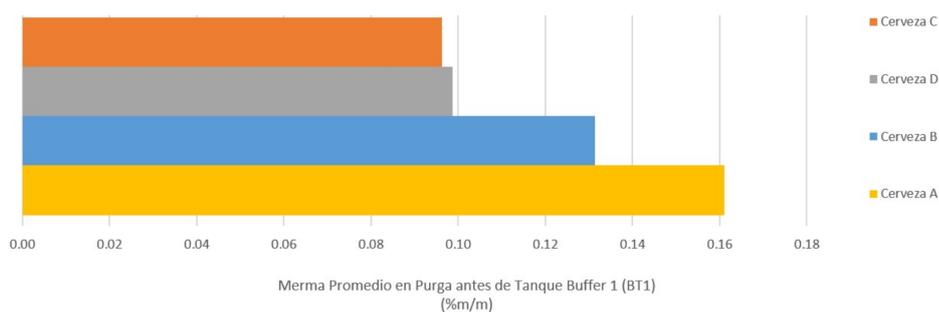
**Figura 5.** Pérdida de extracto total en purgas de levadura para todas las cervezas.

% (m/m). En general para las marcas D y C se tienen los valores más reducidos de pérdida en este punto. A partir de esta información se desprende que la manera en la que se diseñaron las curvas de fermentación para las marcas D y C promueven un menor desperdicio del extracto disponible, inicialmente. En estas cervezas, la generación de levaduras es suficiente para alcanzar el grado alcohólico requerido y no se invierte extracto en generación innecesaria de biomasa, que posteriormente arrastrará más extracto entre las células. Para las cervezas A y B se tiene la particularidad de que la primera tiene una curva de disminución de azúcar disuelta más agresiva que las demás marcas y para la cerveza B se tiene un proceso de producción alcohólica mayor. Estas dos particularidades, aunque con diferentes objetivos, muestran resultados similares en cuanto al aumento en la producción neta de levadura al final del proceso. Esta producción mayor de levadura detona una mayor pérdida de extracto como resultado de ese mismo crecimiento de la levadura.

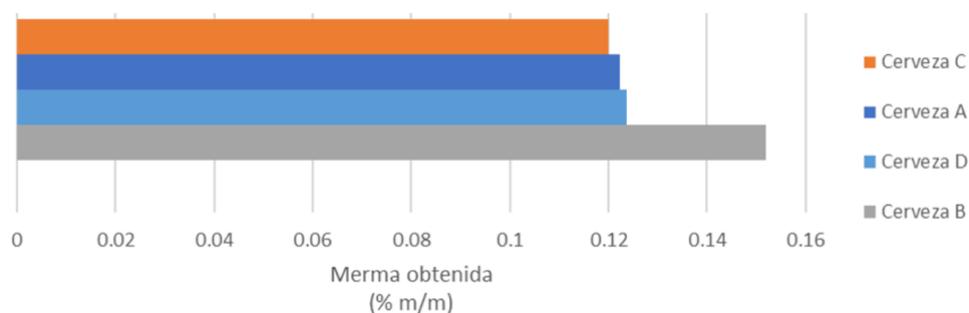
La última sección del proceso estudiado fue la del proceso de filtración. En esta se identificaron tres puntos importantes de pérdida de extracto. Estos fueron, la pérdida a causa de la purga antes del tanque Buffer 1 (BT-1), la pérdida de extracto en la separación Agua-Cerveza y la separación final Cerveza-Agua.

En la primera fuente de pérdida se tuvo el empuje de cerveza madurada que vino de los tanques de fermentación hacia el filtro. En este empuje se derramó en la cañería una cabeza que es mezcla de agua, levadura y cerveza. El flujo se re-dirigió hacia el filtro, una vez que se cumpla alguno de los siguientes dos requisitos: que se hubiese contado un volumen de  $15hL$  de purga de mezcla o que la concentración de alcohol y la turbidez (ligada a la presencia de levadura) en la mezcla cumpliera los requisitos para ser envasada como producto final. Como se observa en la Figura 6a las marcas A y B de cerveza presentan las mayores pérdidas en esta sección. De la misma manera que se comentó para la sección de fermentación, estas marcas de cerveza reportaron la mayor cantidad de producción de levadura. Por esta razón, la mencionada purga antes del tanque buffer 1 para estas marcas de cerveza presentó un volumen mayor, ligado a mayor pérdida de extracto. Se observa que las marcas C y D presentan valores similares de pérdida de extracto en este punto. El comportamiento se sigue explicando por las mismas razones que para la sección de las purgas de levadura. La concentración de levadura en estas marcas de cerveza es menor por lo que se debe purgar menos de los  $15hL$  para tener valores de turbidez y alcohol en la mezcla que cumplan el estándar requerido para la marca.

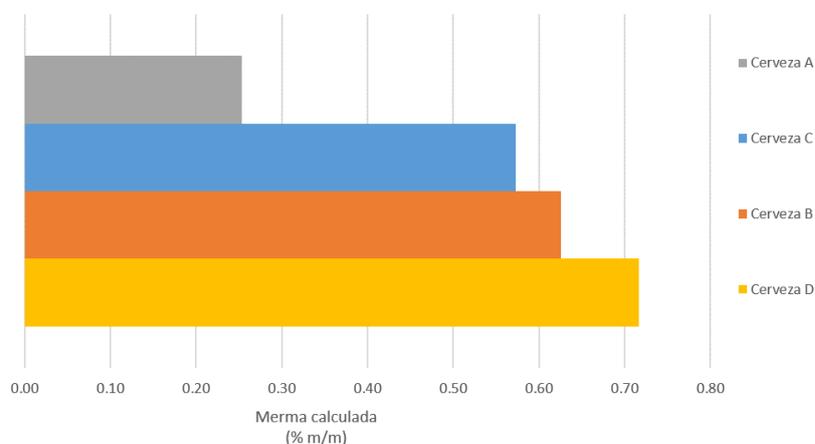
El segundo punto de pérdida en la sección de filtración (separación Agua-Cerveza) consiste en el llenado de todo el sistema de filtración con cerveza, empujando el agua con el que está lleno el sistema inicialmente. Este empuje tiene un límite de 100 hL de volumen. Como se observa en la Figura 6b las marcas de cerveza C, A y D presentan un aporte similar a la merma. La cerveza B presenta mayor cantidad de pérdida de extracto debido a que esta cerveza es la que, como producto final, tiene el mayor contenido de alcohol y extracto. De esta manera, el mismo volumen de purga tiene una mayor pérdida de extracto asociado para esta marca.



(a). Pérdida de Extracto en Purga antes del tanque buffer 1 para cada marca de cerveza



(b). Pérdida de Extracto en separación agua-cerveza, para cada marca de Cerveza

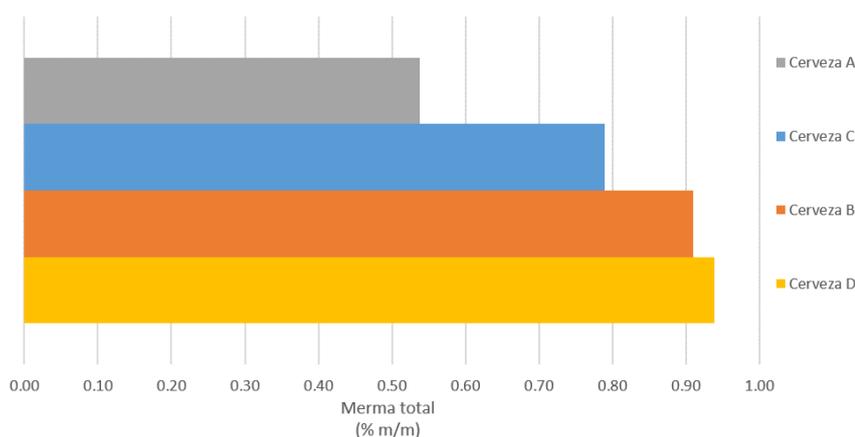


(c). Pérdida de Extracto en separación cerveza-agua para cada marca de Cerveza

**Figura 6. Perdida de Extracto en proceso de filtración para todas las marcas de cerveza**

Por último, el tercer punto de pérdida en la sección de filtración consistió en la separación Cerveza- Agua. La cerveza presente en la línea se empujó con 120 hL hacia el tanque de cerveza terminada. El volumen de cerveza remanente en la línea luego de los 120 hL se derramó en el caño. A este volumen se le midió la cantidad de

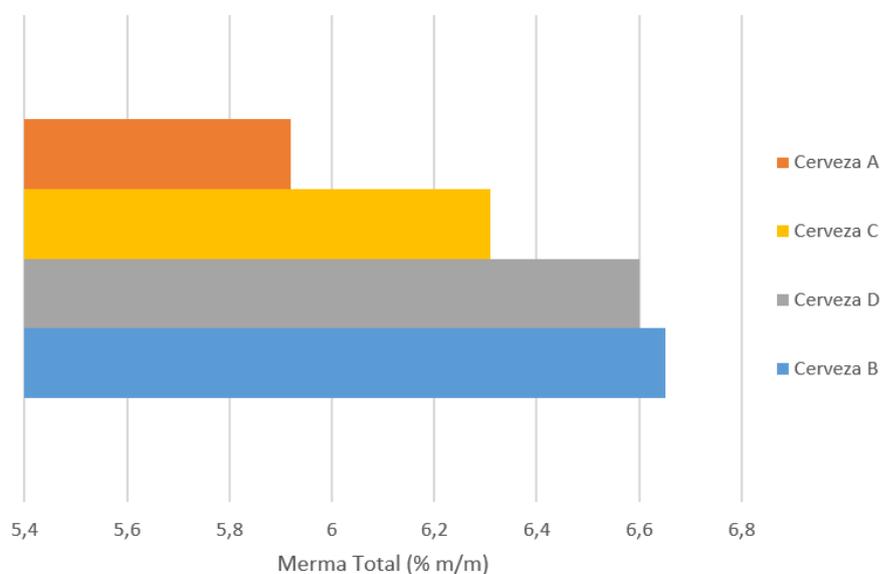
extracto. Como se observa en la Figura 6c se sigue observando la misma tendencia obtenida para los puntos anteriores. Las cervezas B y D muestran el aporte más significativo a la merma. Como se discutió anteriormente, en la Figura 7 las cervezas B y D presentan el mayor aporte a la pérdida de extracto. La cerveza A, que es la de menor contenido de extracto como producto, tiene el menor aporte a la merma total de filtración.



**Figura 7.** Pérdida de extracto total en sección de filtración para cada marca de cerveza.

Como resumen para la cuantificación de la merma real total se observa, en la Figura 8, que la tendencia que se vino describiendo para cada sub-sección del proceso se concreta. Las cervezas que representan la mayor pérdida cuantificada son la B, la C y la D. En específico, la que presenta la mayor pérdida es la B. Como se ha comentado previamente, esta cerveza es la que presenta el mayor contenido de extracto ya que es la que mayor contenido alcohólico tiene como producto final. Por el contrario, la cerveza A presenta una merma comparablemente menor que todas las demás. Esto debido a ser una marca de cerveza con menor contenido de alcohol y extracto.

De las Figuras 3, 5 y 7, se observa que la mayor pérdida cuantificada se encuentra en la sección de Fermentación, específicamente en las cervezas A y B. Estas observaciones y su respectivo análisis se tomarán en cuenta para, consecuentemente con los objetivos del proyecto, sugerir la implementación de una mejora en el proceso que podría disminuir el porcentaje de extracto perdido en esta sección.



**Figura 8.** Pérdida de extracto total en elaboración (cocimiento-fermentación-filtración)

Aquí se concluye la sección que tiene por objetivo cuantificar la merma real que se produce en el proceso productivo de cerveza que abarca desde la sección de cocimiento hasta la sección de filtración. Para la próxima sección se utilizará una herramienta que la empresa posee en forma de un programa de computación. Con el apoyo de este programa se procederá a analizar el proceso de producción de cerveza y las tecnologías que se utilizan. De esta manera se ingresará la información que el programa precisa para obtener el aporte a la merma tecnológica que cada equipos posee.

### **3.2. Cuantificación de la pérdida tecnológica de extracto en sección de cocimiento y en la sección de bodegas frías.**

Como se comentó anteriormente, para la determinación de la pérdida tecnológica, la empresa en la que se realizó la práctica posee un programa diseñado con el fin de cuantificar el valor de esta pérdida. Para utilizar este programa y obtener los resultados cuantitativos requeridos, se realizó un estudio de las características y procedimientos que se llevan a cabo a lo largo del proceso de producción de cerveza. De esta manera se obtuvo el valor de la pérdida tecnológica para cada una de las cuatro marcas de cerveza.

En el programa se contestan preguntas relacionadas a los procesos que se dan en la producción de la cerveza. Los valores para cada uno de los posibles puntos de pérdida en la determinación de la pérdida tecnológica para el proceso de elaboración de la cerveza se van acumulando conforme se responden esas preguntas. Como se mencionó en el marco teórico, la pérdida tecnológica depende de los procesos que se utilizan en cada empresa. La herramienta es aplicable al caso específico de la empresa donde se realizó este trabajo, ya que, está diseñada para analizar procesos que se dan en una empresa productora de cerveza. De esta manera la herramienta ya tiene caracterizado el valor que aportaría a la pérdida tecnológica la condición específica que se escoja para el proceso en cuestión. Los diferentes puntos donde se analizarán las características específicas del proceso se determinaron luego de observar cómo funciona el proceso en esta empresa. La primera sección, cocimiento, tiene posibles puntos de pérdida como lo son: materiales líquidos que aportan extracto, transferencias dentro de la sección de cocimiento, la pérdida en el afrecho y la formación del Trub. A partir de cada una de las posibles fuentes de pérdida se analizó el proceso y con el apoyo de los ingenieros y operarios se obtuvo la caracterización del proceso necesaria para llenar las casillas del programa. Para esta sección de la determinación de la merma tecnológica se determinó que ninguna marca de cerveza utilizó azúcar en cristales como fuente de extracto por lo que el aporte en ese rubro fue cero. Por otra parte, el equipo utilizado para descargar la malta fue una bomba.

Se determinó que, semanalmente, se producían entre 15 y 50 cocimientos y que el sistema utilizado para hervir el mosto era de tubos internos. Por otra parte, el sistema de filtración no utiliza la tecnología de cuba filtro, por lo que no se generó un aporte a la pérdida tecnológica en este rubro. Además, en la filtración no se obtiene un mosto de grados plato mayor a 15. Por esta razón se considera que el mosto no es de alta referencia. Según la herramienta el aporte a la pérdida tecnológica es, también, nulo.

El porcentaje promedio de adjuntos utilizado en la receta de las diferentes marcas de cerveza está entre un 18 % y un 16 %. Por esta razón se utilizó un valor del 17 % como referencia. Además, en este proceso de producción de cerveza el porcentaje de cebada sin maltear agregado es, también, nulo.

Los grados plato promedio con los que se produce el mosto son menores a 15. De acuerdo a esta herramienta, cualquier mosto producido con un valor menor a 15 representa un aporte no significativo a la pérdida tecnológica.

La frecuencia de filtración promedio por día obtenida en el proceso fue de 12 filtraciones diarias. Esto representa un funcionamiento nominal del sistema de filtración de acuerdo a los estándares de la empresa ya que el sistema podría aprovecharse con un número mayor de filtraciones diarias si fuera necesario para la cadena productiva.

Como se observa en el Cuadro 3.2, el valor de la pérdida tecnológica para cada marca de cerveza en cocimiento tiene un valor que va desde el 1,10% y el 1,23%. Se observa que entre las diferentes marcas de cerveza no se tienen grandes diferencias de pérdida de extracto en esta sección. Esto se debe a la particularidad de un proceso en el que las recetas no presentan variaciones marcadas entre una y otra.

**Cuadro 3.2.** Merma Tecnológica en la sección de cocimiento para las diferentes cervezas.

Sección de Producción	Cerveza A (%m/m)	Cerveza B (%m/m)	Cerveza C (%m/m)	Cerveza D (%m/m)
Cocimiento	1.10	1.23	1.22	1.16

Como se observa en la Cuadro 3.3, se procedió a calcular la media de los valores de la pérdida tecnológica para la sección de cocimiento. El único punto en que se encontraron diferencias que dependían de la marca de cerveza. A partir de esto se obtuvo la desviación estándar. El valor de 0,06%*m/m* denota una baja desviación estandar entre los valores.

**Cuadro 3.3.** Media y desviación estandar de los valores de pérdida tecnológica para las distintas marcas de cerveza analizadas en la sección de cocimiento.

Sección de Producción	Media (%m/m)	Desviación estándar (%m/m)
Cocimiento	1.18	0.06

Con base en el valor de la media y los valores de los diferentes porcentajes de pérdida para cada marca en cocimiento, se obtuvo, como se muestra en el Cuadro 3.4 el porcentaje de desviación de cada uno de los valores con respecto a la media.

Se observa que la Cerveza A es la que muestra mayor desviación, sin embargo esta desviación es menor al 7%. De esta manera se entiende que los valores de la pérdida tecnológica en cocimiento son muy cercanos entre sí, independientemente de la marca de cerveza.

**Cuadro 3.4.** Porcentaje de desviación desde la media para la pérdida tecnológica en la sección de cocimiento en las diferentes cervezas.

Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D
(%)	(%)	(%)	(%)
6.58	4.45	3.61	1.49

La segunda sección de estudio de pérdida tecnológica fue la de fermentación. Como se comentó anteriormente, a partir de esta sección, al proceso se le llama bodegas frías. Esto se debe a que el sistema de refrigeración cobra relevancia vinculante en lo sucesivo del proceso productivo.

La herramienta de cálculo presenta diferentes y posibles puntos de pérdida que se dividen en transferencias en bodegas frías, generación extra de levadura, transporte entre cerveceras y materiales líquidos que aporten extracto.

Para todas las marcas de cerveza analizadas, las condiciones en esta sección son las mismas como se describe a continuación.

Los batch de fermentación promedio estudiados fueron de más de  $1000hL$  y entre todas las transferencias que se dan en esta sección se suman dos. Estas serían, la transferencia desde cocimiento al tanque de fermentación y la transferencia una vez que la cerveza se encuentre madura hacia el proceso de filtración. Además, se observó que el tipo de tanques utilizados para la fermentación era vertical. Este tipo de tanques disminuye la posibilidad de generar pérdida en las purgas ya que su diseño es cilindro-cónico. Este diseño cumple la función de sedimentador, concentrando la totalidad de la levadura precipitada en el fondo del mismo.

A partir del análisis real de la pérdida de extracto para todas las marcas de cerveza, se obtuvo que la generación de levadura en el proceso de fermentación estaba por encima de una concentración final de  $350g/hL$  de levadura. De acuerdo a los estándares de la empresa, esta generación de levadura está por encima de lo recomendado. Este valor significa un aporte importante a la pérdida de extracto

debido a que hay cerveza que se pierde entre las células de levadura y que contiene extracto. Por otra parte, la misma generación de levadura está relacionada con un consumo de extracto como requerimiento bio-energético del propio micro-organismo. En resumen, entre más se produzca levadura, mayor será el aporte a la pérdida tecnológica. Inclusive, la herramienta no contempla una generación mayor a  $350g/hL$  de levadura dentro de las opciones disponibles. El hecho de obtener un valor tan alto en la generación de levadura durante el proceso de fermentación y su consiguiente aporte al incremento en la pérdida de extracto, se tomará como un factor importante para concretar qué secciones del proceso podrían ser mejoradas con el fin de proponer ajustes que reduzcan la pérdida de extracto.

Aunado a lo anterior, la empresa no cuenta con un sistema de recuperación de cerveza. Este sistema podría evitar que toda la levadura producida y que eventualmente tendría que ser purgada se lleve consigo cantidades importantes de cerveza retenida entre sus células. De acuerdo con el programa para el cálculo de la merma tecnológica, el aporte a esta pérdida, dada la ausencia de este sistema, representa un valor mayor al 2 % dentro de la pérdida tecnológica total. Para dimensionar el impacto del comentario anterior, de acuerdo con el Cuadro 3.5 este valor, que se podría prevenir en caso de implementar el sistema de recuperación de levadura, es aún mayor que la pérdida tecnológica en cocimiento y, como se verá más adelante, filtración juntas, para cualquier marca de las cervezas estudiadas.

Finalmente, se tiene que no hay ingredientes que se le agreguen a la cerveza en esta sección y que contengan un aporte de extracto significativo al proceso. Por esta razón el aporte a la pérdida tecnológica en este rubro es nulo.

Como las condiciones tecnológicas en la sección de fermentación son idénticas para todas las marcas de cerveza analizadas. El valor para esta sección es el mismo para todas esas marcas, como se observa en el Cuadro 3.5

**Cuadro 3.5.** Merma Tecnológica en la sección de fermentación para las diferentes cervezas.

Sección de Producción	Cerveza A (%m/m)	Cerveza B (%m/m)	Cerveza C (%m/m)	Cerveza D (%m/m)
Fermentación	3.55	3.55	3.55	3.55

Como se comentó con antelación, la última sección estudiada del proceso de

producción de cerveza es la sección de filtración y estabilización. La primera característica relacionada con la pérdida tecnológica en esta sección es el tipo de filtración utilizado. En el caso de la empresa es un filtro KG o “kieselguhr” de tierras diatomeas filtrantes. Además, el sistema de filtración cuenta con un subsistema en el que se almacenan las cabezas y las colas de los empujes de cerveza que provienen de los tanques de fermentación. Esta característica del sistema de filtración se analizó en el capítulo de pérdida real de extracto. Finalmente se tiene que el sistema de filtración opera al 100 % de la capacidad nominal instalada.

Al igual que en la sección anteriormente evaluada, que fue la de fermentación, para la sección de filtración, las características tecnológicas del proceso son exactamente iguales para todas las marcas de cerveza. Por esta razón, como se observa en el Cuadro 3.6, el valor para esta sección es igual en todas las marcas.

**Cuadro 3.6.** Merma Tecnológica en la sección de filtración para las diferentes cervezas.

Sección de Producción	Cerveza A (%m/m)	Cerveza B (%m/m)	Cerveza C (%m/m)	Cerveza D (%m/m)
Filtración	0.41	0.41	0.41	0.41

En el Cuadro 3.7, se observa que los valores para la pérdida total calculada se encuentran entre el 5,06 % y el 5,19 %. Representando un margen de diferencia reducido entre todas las marcas. Este comportamiento se explica por el hecho que se ha venido mencionando anteriormente, relacionado a que los únicos puntos donde se tiene una diferencia significativa en el proceso de elaboración de la cerveza para las diferentes marcas se tienen en la sección de cocimiento.

**Cuadro 3.7.** Merma Tecnológica para las diferentes cervezas en todo el proceso.

Sección de Producción	Cerveza A (%m/m)	Cerveza B (%m/m)	Cerveza C (%m/m)	Cerveza D (%m/m)
Total	5,06	5,19	5,18	5,11

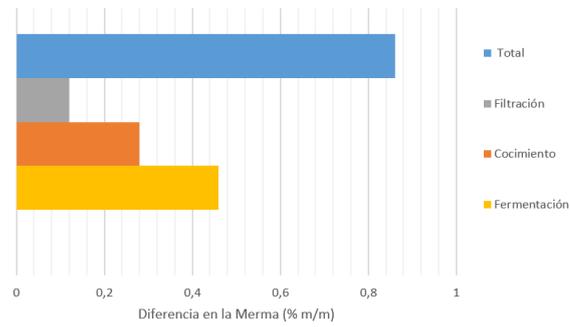
Como se explicó anteriormente, el impacto a la pérdida tecnológica se ve afectado directamente por la relación de granos y malta que se utilicen como receta original de cada marca. Como las diferencias en esta proporción no son tan significativas,

el cambio en el impacto a la pérdida tecnológica tampoco representa una variación importante en los valores finales. Como se mencionó anteriormente, el valor de la pérdida tecnológica sólo se puede reducir en el momento en que la tecnología y los procesos característicos de la industria cambien estructuralmente.

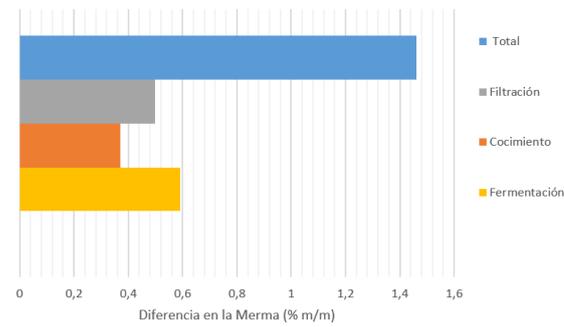
Con la información de las herramientas para el cálculo de la pérdida tecnológica y la pérdida real, se confeccionó la Figura 9. En los diferentes gráficos que la componen se observa el valor de la diferencia entre el dato de la pérdida real y la pérdida tecnológica, para las diferentes marcas de cerveza.

Se observa que para las marcas A y B, la mayor diferencia entre la pérdida real y tecnológica se encuentra en la sección de Fermentación. Por otra parte, se encuentra que las diferencias en la sección de cocimiento son mayores para las cervezas C y D. Para la cerveza A se tienen menores diferencias en las secciones de cocimiento y filtración. Para la cerveza B también se tienen valores menores de diferencia para las secciones de cocimiento y filtración, sin embargo estas diferencias son más cercanas entre ellas, inclusive con respecto a las diferencias para la sección de fermentación. Para ambas cervezas mencionadas, ninguna diferencia llega a sobrepasar el  $0,60\%m/m$ . Para las cervezas C y D, las mayores diferencias se observan en cocimiento. Ninguna de estas diferencias llegan a ser mayores al  $0,80\%m/m$ . Con respecto a la diferencia, se pueden mencionar dos puntos. El primero es que la herramienta se ajusta en gran medida a los valores obtenidos de pérdida real calculados en este trabajo. Esto debido a que ninguna diferencia llega a ser mayor al  $0,75\%m/m$ . Este argumento da un respaldo al cálculo de la pérdida real de extracto. Por otra parte, se encuentra que la pérdida de extracto que se podría prevenir tiene un valor pequeño para el proceso productivo de la empresa. Esto es un signo de una cadena de producción altamente controlada y estudiada con el fin de reducir las pérdidas de extracto reales al mínimo.

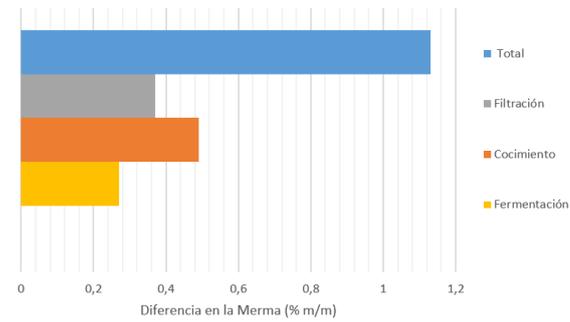
Realizando un análisis de los procesos y tecnología con la que se cuenta en la sección de cocimiento, se concluye que en esta sección ya se tiene a disposición la tecnología de menor aporte a la pérdida tecnológica. Específicamente, se cuenta con un sistema de filtración de placas, que es una de las tecnologías más eficientes para la filtración de mosto mezclado con afrecho.



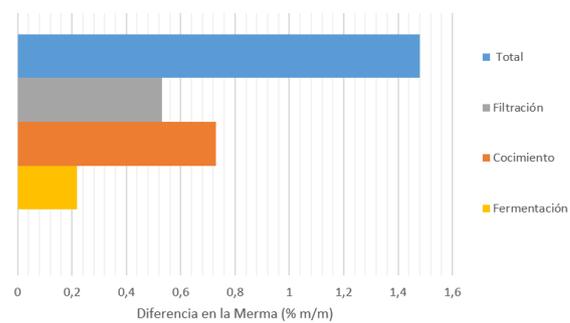
(a). Diferencia en las mermas para la Cerveza A



(b). Diferencia en las mermas para la Cerveza B



(c). Diferencia en las mermas para la Cerveza C



(d). Diferencia en las mermas para la Cerveza D

**Figura 9. Diferencias entre la merma real y tecnológica para todas las marcas de cerveza**

Se sabe que el mosto generado no presenta extractos mayores a 15 grados plato ( $^{\circ}P$ ), reduciendo al mínimo el impacto en la merma tecnológica. Por otra parte, el trub que se genera en la olla whirlpool se reintegra al proceso de filtración cuando las recetas de cerveza lo permiten. De esta manera, también se tiene un proceso en el que se ha logrado reducir al máximo la pérdida real. Luego de este análisis, no se encontró un ámbito en el que fuera posible sugerir una reducción en la pérdida real del proceso.

Al comparar el valor total de la merma real y la tecnológica se obtiene que la diferencia para las marcas B, C y D expresan un comportamiento similar, con valores entre el 1,33 %( $m/m$ ) y el 1,48 %( $m/m$ ). La única excepción se observa en la cerveza A. Esta cerveza presenta una diferencia total cercana al valor de 0,86 %( $m/m$ ). Este comportamiento se explica a partir del hecho de que la cerveza A es la de menor contenido de extracto entre todas. Es un hecho que las pérdidas de extracto en esta marca son menores por lo que el control en la merma se facilita en gran medida. Se puede concluir de esta observación que, para la cerveza de bajo contenido en extracto, las dos herramientas utilizadas presentan márgenes de precisión mayores. En este punto se concluye la recopilación de información del campo para la determinación de la merma real y a través del programa provisto por la empresa para la determinación de la merma tecnológica. Con esta información es posible iniciar el análisis con el que se podrá sugerir una mejora en el proceso productivo.

### **3.3. Estudio de la reducción en la pérdida prevenible para la sección de fermentación y análisis de costo-beneficio.**

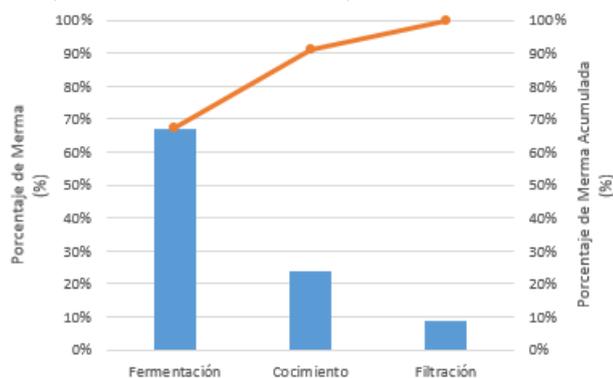
Para el análisis en esta sección se utilizó, en primera instancia, la información de la pérdida real obtenida en la Sección 3.1 Cuantificación de la pérdida real de extracto en el proceso de elaboración de la cerveza.

A partir de la información de la pérdida real obtenida se realizaron diagramas de Pareto con el porcentaje de merma real por sección del proceso y el porcentaje de merma acumulado total para todo el proceso. Como se observa en la Figura 10, para todas las marcas de cerveza, alrededor del 80 % de la merma se acumuló en las

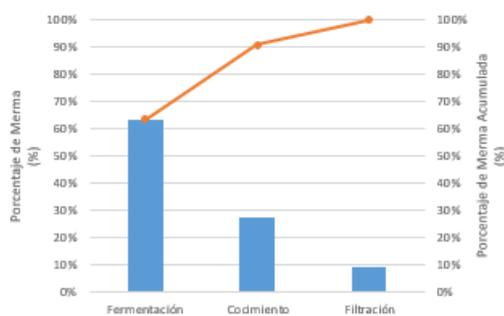
secciones de fermentación y cocimiento. En particular, más del 50 % de la pérdida total se logró ubicar, exclusivamente, en la sección de fermentación. Este comportamiento, ampliamente analizado en capítulos anteriores, permitió identificar que un cambio en la sección de fermentación podría impactar favorablemente el objetivo de reducir la pérdida de extracto para el proceso. Por otra parte, se descartó la sección de cocimiento de las maltas y granos como una posible en la que se propondrían posibles cambios en el proceso. Se realizó un análisis de los procesos y tecnología que se utiliza actualmente en la sección de cocimiento. De esta manera se concluyó que ya se tiene a disposición la tecnología de menor aporte a la pérdida tecnológica en este sub proceso.

En la sección de cocimiento ya se utiliza un sistema de filtración con placas. Esta es una de las tecnologías más eficientes para la filtración ya que reduce el extracto soluble, retenido entre el afrecho a los niveles mínimos requeridos por los estándares de producción de cerveza. Incluso, el equipo posee la capacidad para reducir aún más la cantidad de extracto retenido en la torta que se crea entre los marcos. No obstante, este tipo de prácticas podrían ir en detrimento de los sabores deseables en una cerveza ya que se procedería a liberar más taninos que producen sabores astringentes, reduciendo así la calidad de la cerveza. Por otra parte, se sabe que el mosto generado no presenta extractos mayores a 15 °P, reduciendo el impacto en la merma tecnológica. Luego, se sabe que el trub que se genera en la olla whirlpool se reintegra al proceso de filtración cuando las recetas de cerveza lo permiten. De esta manera, también se tiene un proceso en el que se ha logrado reducir al máximo la pérdida real. Luego de este análisis, no se encontró un ámbito en el que fuera posible sugerir una reducción en la pérdida real del proceso.

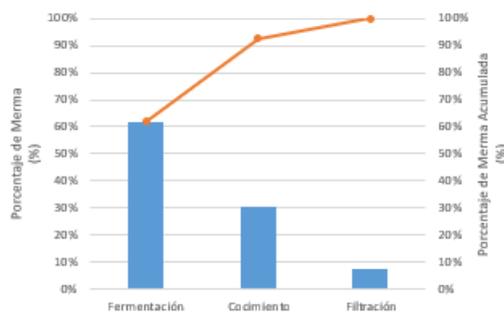
Se determinó que el punto de mayor pérdida de extracto en la sección de fermentación está directamente relacionado a las purgas de levadura y al extracto que se pierde a causa de la cerveza retenida entre la biomasa de levadura. Por esta razón, se procedió a buscar soluciones con el fin de reducir ese desperdicio. En el mercado existen equipos destinados al proceso de separación de la cerveza retenida en las purgas de levadura. Por esta razón se enviaron solicitudes de cotización para estos



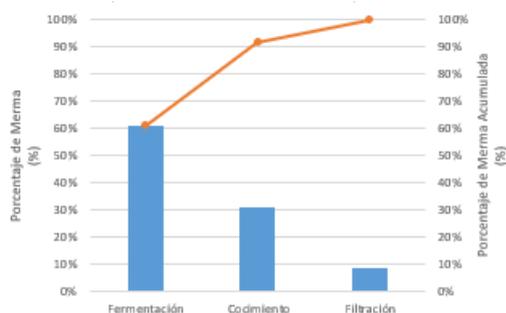
(a). Diagrama de Pareto para pérdida real en Cerveza A



(b). Diagrama de Pareto para pérdida real en Cerveza B



(c). Diagrama de Pareto para pérdida real en Cerveza C



(d). Diagrama de Pareto para pérdida real en Cerveza D

**Figura 10. Diagramas de Pareto para determinar contribuciones a la pérdida real de extracto en todas las marcas de cerveza**

equipos a distintas empresas dedicadas a la venta de equipos de procesos relacionados a la industria alimentaria. Se obtuvieron dos cotizaciones de dos empresas distintas ofreciendo equipos similares. Las empresas se llamarán GE y BU.

A continuación se procederá a describir el funcionamiento general de los equipos que se cotizaron. Estos equipos son los que la empresa requiere para cumplir con el objetivo deseado. Separar la mayor cantidad de cerveza de la levadura purgada en el proceso de fermentación. Esta levadura sería incorporada de nuevo al flujo del proceso. De esta manera se lograría reducir la pérdida tecnológica y real luego de haber identificado esta oportunidad de mejora al reducir la cantidad de desperdicio de cerveza.

### **3.3.1. Descripción del proceso general del funcionamiento de los sistemas ofrecidos por ambas empresas GE y BU.**

#### **A. Preparación de la levadura**

Toda la levadura que no se utilizará para otros fines, se desvía a los tanques de recuperación de cerveza. Cuando se llena el tanque hasta el punto requerido, se contabiliza el porcentaje de sólidos y se mantiene la circulación en los tanques por 1 hora para garantizar homogenización.

#### **B. Filtración cruzada**

El sistema utiliza un mecanismo de flujo alto cruzado. De esta manera, la cerveza retenida entre la levadura pasa a través de la membrana cerámica. El lado del filtro que tiene la cerveza presenta un flujo direccionado hacia la válvula multi-paso y luego hacia el tanque de cerveza recuperada y el lado del filtro donde se concentra la levadura, presenta un flujo direccionado hacia la misma válvula multi-paso, pero con dirección hacia el tanque de levadura.

#### **C. Almacenamiento de la cerveza recuperada**

Todos los tanques son presurizados con dióxido de carbono para evitar la contaminación con oxígeno. Además, se tiene una línea de dosificación de cerveza que transferirá la cerveza con un flujo controlado hacia el sistema de filtración de cerveza.

#### **D. Sistema de autólisis y tanque de levadura de desecho**

Se tiene un sistema nuevo de autólisis tubular con agua caliente, un tanque de levadura de desecho y una unidad de CIP para limpiar el tanque de levadura de desecho.

### **3.3.2. Análisis económico de los sistemas ofrecidos por ambas empresas GE y BU.**

A partir de los costos estimados se realizaron proyecciones de flujo de caja a cinco años plazo. Esto con el objetivo de valorar si la inversión en los equipos cotizados sería rentable en ese período de tiempo. Para realizar un ejercicio de análisis de costo y oportunidad, se confeccionó un flujo de caja a 5 años plazo con el escenario en el que no se realiza la inversión en la instalación del equipo y otros dos flujos de caja en los que se contempla el escenario donde sí se instala el equipo cotizado. Al tener dos cotizaciones, se realizaron los flujos de caja para ambas y se escogió la cotización que significaba la menor inversión, con el mismo resultado. Los costos considerados se pueden observar más adelante en los Cuadros del 3.13 al 3.16. El origen de los costos será analizado más adelante. Por otra parte, la instalación del equipo sugerido no generaría ganancias a la empresa, solamente costos dada la inversión de capital que sería necesaria. Sin embargo, esta inversión se llegaría a relacionar con un posible ahorro ya que se estaría eliminando del desperdicio de cerveza que actualmente se da.

Antes de realizar los flujos de caja para los escenarios que se expondrán más adelante, se realizaron cálculos previos para estimar la cantidad de extracto que se perdería y su respectivo impacto económico en ambos escenarios, estos son, si no se instalara el sistema o si efectivamente se instalara el sistema.

Primero, como se observa en el cuadro 3.8 Se tienen los kilogramos de extracto que se pierden en la cerveza y entre la levadura para las cuatro marcas de cerveza analizadas.

Se observa que para las marcas B y C se tienen las mayores pérdidas de extracto en purgas. Estos datos siguen la tendencia analizada en capítulos anteriores donde las cervezas B y C mostraban la mayor cantidad de pérdida de extracto para la

**Cuadro 3.8.** Determinación del extracto perdido por cada tanque actualmente contabilizando todas las purgas.

Rubro	Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D
Extracto en Cerveza (kg)	404,69	519,21	497,53	451,70
Extracto entre la Levadura (kg)	345,17	442,84	424,35	385,26
Extracto Total perdido en purgas (kg)	749,86	962,05	921,87	836,97

sección de fermentación.

Luego, se observa en el cuadro 3.9 que se utilizó la premisa de que el equipo a instalar sería capaz de separar la cerveza arrastrada por la levadura, pero no la cerveza contenida entre la levadura. Por esta razón, se consideró que la cantidad de extracto que se perdería aún si se instalara el sistema sería el que el equipo sería incapaz de remover.

**Cuadro 3.9.** Determinación del extracto perdido con recuperación de cerveza.

Rubro	Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D
Extracto entre Levadura (kg)	345.17	442.84	424.35	385.26

Además, se consideró, como se observa en el cuadro 3.10, que semanalmente se realizan entre cinco y seis ciclos completos de purga por semana para cada una de las marcas de cerveza en promedio.

**Cuadro 3.10.** Ciclos completos de purga por semana.

Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D
5	5	5	6

Con base en esta información se calculó, como se observa en el Cuadro 3.11, la cantidad de kilogramos de extracto que se perderían anualmente para cada marca de cerveza, si se implementa el sistema de recuperación de cerveza.

**Cuadro 3.11.** Cantidad de extracto perdido por año con recuperación de cerveza.

Cerveza A (kg)	Cerveza B (kg)	Cerveza C (kg)	Cerveza D (kg)
89 743.34	115 139.03	110 330.41	120 202.38

Por otra parte, en el Cuadro 3.12 se obtiene una proyección de cuantos kilogramos de extracto se perderían anualmente para cada marca de cerveza en el caso en que no se implementa el sistema de recuperación de levadura.

**Cuadro 3.12.** Cantidad de extracto perdido por año sin recuperación de cerveza.

Cerveza A (kg)	Cerveza B (kg)	Cerveza C (kg)	Cerveza D (kg)
194 962, 63	250 133, 50	239 687, 03	261 133, 36

Finalmente, en el cuadro 3.13 se obtiene el valor estimado de cuantos dólares se perderían por parte de la empresa anualmente, si se cumple el escenario en el que se recupera la cerveza. Se utilizó la masa de extracto perdido anualmente y el precio estimado por cada gramo de extracto para tener el valor final de pérdida económica. Por otra parte, en el cuadro 3.14 se obtiene el valor estimado de cuantos dólares se

**Cuadro 3.13.** Estimación de la pérdida económica anual con recuperación de cerveza.

Rubro	Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D
Extracto perdido por año (g)	89 743 338	115 139 033	110 330 415	120 202 382
Precio por gramo de Extracto (\$/g)	0,0032	0,0029	0,0029	0,0033
Pérdida económica anual (\$)	283 138	335 686	321 667	391 830

pierden anualmente en el escenario en el que no se recupera la cerveza ya que no se instala el equipo cotizado. Para este cálculo también se utilizó la masa de extracto perdido anualmente y el precio estimado por cada gramo de extracto para tener el valor final de pérdida económica.

Por último, en el Cuadro 3.15 se observan los costos relacionados al consumo energético que la misma operación del equipo de separación de levadura demandaría (CNFL, 2020).

**Cuadro 3.14.** Estimación de la pérdida económica anual sin recuperación de cerveza.

Rubro	Cerveza A	Cerveza B	Cerveza C	Cerveza D
Extracto perdido por año (g)	194 962 688	250 133 502	239 687 032	261 133 363
Precio por gramo de Extracto (\$/g)	0,0032	0,0029	0,0029	0,0033
Pérdida económica anual (\$)	615 102	729 261	698 804	851 229

**Cuadro 3.15.** Estimación del consumo energético mensual para el sistema de filtración a partir del consumo requerido por el equipo instalado.

Energía estimada consumida (kW)	Costo Eléctrico (\$/kW)	Costo por Potencia (\$/mes)	Costo por Potencia (\$/año)
47	20,65	970,33	11 643,94

También se observan en el Cuadro 3.16 los costos estimados anuales asociados a la operación del equipo instalado. Estos costos están relacionados a la jornada laboral que se debería costear para un operario encargado de supervisar el correcto funcionamiento del proceso y el equipo (Isela, 2021).

**Cuadro 3.16.** Estimación del costo de operación del sistema a utilizar para la separación de levadura.

Tiempo estimado de trabajo (h)	Salario de Operario por día (\$)	Costo de operación por año (\$)
8	20,82	8 118,21

Finalmente, al considerar los costos totales para ambos proyectos, se logran realizar los flujos de caja para los escenarios propuestos. Estos flujos de caja se realizaron de la siguiente manera. Se sumaron todos los costos considerados como inversión inicial y esto se tomó como un valor negativo. Como inversión inicial en este trabajo, se detallaron lo más específicamente posible los diferentes rubros que se consideraron necesarios para instalar el equipo que ocupa el proyecto. Posteriormente, se estimaron los costos fijos necesarios durante el funcionamiento del equipo y cómo estos van cambiando con el paso de los años. Por último, se deberían considerar los ingresos

que el proyecto tengan en el período de estudio, sin embargo, es necesario aclarar que para el caso en estudio, nunca van a existir ingresos positivos de dinero. En este ejercicio, el factor central fue determinar cuál cotización generaría un impacto menos negativo a las finanzas de la empresa. Por último, para el flujo de caja final se tomó la diferencia entre las pérdidas que se tendrían en el escenario en que se instala el equipo seleccionado y en el escenario en el que no se instala el equipo. De esta manera se consideró el ahorro como un valor positivo para la empresa.

Como se observa en la Figura 11, si no se instala el sistema de recuperación de levadura y el proceso de fermentación permanece inalterado, se tiene un valor actual neto (VAN) de las pérdidas anuales de \$ - 11 172 544,51. Por esta razón, se realizó un flujo de caja adicional relacionado a los ahorros que se obtendrían si se instala el equipo con menores costos en comparación a la pérdida que se seguiría obteniendo si no se instala el mismo.

Año	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión (-)</b>	\$0,00					
<b>NOTAS:</b>						
Se asume un aumento en el valor de venta de la cerveza de un 1% anual						
<b>Egresos (-)</b>						
Costos fijos						
Pérdida por extracto para cerveza A	\$ 615 101,87	\$ 621 252,89	\$ 627 465,42	\$ 633 740,07	\$ 640 077,47	
Pérdida por extracto para cerveza B	\$ 729 260,70	\$ 736 553,30	\$ 743 918,84	\$ 751 358,02	\$ 758 871,61	
Pérdida por extracto para cerveza C	\$ 698 804,16	\$ 705 792,20	\$ 712 850,12	\$ 719 978,62	\$ 727 178,41	
Pérdida por extracto para cerveza D	\$ 851 229,46	\$ 859 741,75	\$ 868 339,17	\$ 877 022,56	\$ 885 792,79	
Utilidad	\$ -2 894 396,18	\$ -2 923 340,14	\$ -2 952 573,55	\$ -2 982 099,28	\$ -3 011 920,27	
<b>VAN</b>	<b>\$ -11 172 544,51</b>					

**Figura 11.** Flujo de caja sin recuperación de cerveza.

Como se observa en la Figura 12, la cotización con la empresa GE presentó un valor actual neto (VAN) de \$ - 6 710 537,47.

Por otra parte, como se observa en la Figura 13, la cotización para la empresa BU presentó un valor actual neto (VAN) de \$ - 6 945 625,12. Debido a que la cotización con la empresa GE tuvo un costo relativamente menor por los mismos servicios y un valor actual neto menos negativo, se escogerá este oferente para analizar los ahorros relacionados a la inversión a cinco años plazo, como se menciona más adelante.

En la Figura 14, se tiene un plazo de 5 años y se asumió que el aumento en el costo eléctrico será de un 5% anual.

	Año	0	1	2	3	4	5
<b>Costos de Inversión</b>							
Rubro 1		\$779 991,01					
Rubro 2		\$294 172,21					
Rubro 3		\$314 750,19					
Rubro 4		\$646 036,67					
Rubro 5		\$222 042,92					
Rubro 6		\$1 482 560,23					
Rubro 7		\$361 417,42					
Rubro 8		\$176 260,97					
Rubro 9		\$107 661,55					
Rubro 10		\$100 000,00					
<b>Inversión (-)</b>		<b>\$4 484 893,17</b>					
<b>Egresos (-)</b>							
Costos fijos							
Consumo eléctrico		\$ 11 643,94	\$ 12 226,14	\$ 12 837,45	\$ 13 479,32	\$ 14 153,29	
Costos de Operación		\$ 8 118,21	\$ 8 323,60	\$ 8 534,19	\$ 8 750,11	\$ 8 971,48	
Mantenimiento		\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	
Pérdida por extracto para cerveza A		\$ 283 137,74	\$ 285 969,12	\$ 288 828,81	\$ 291 717,10	\$ 294 634,27	
Pérdida por extracto para cerveza B		\$ 335 686,23	\$ 339 043,09	\$ 342 433,52	\$ 345 857,85	\$ 349 316,43	
Pérdida por extracto para cerveza C		\$ 321 666,77	\$ 324 883,44	\$ 328 132,27	\$ 331 413,59	\$ 334 727,73	
Pérdida por extracto para cerveza D		\$ 391 829,71	\$ 395 748,00	\$ 399 705,48	\$ 403 702,54	\$ 407 739,56	
Depreciación (-)	(-)	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	
Valor de rescate							\$ 2 242 446,59
Utilidad		\$ -4 484 893,17	\$ -928 593,28	\$ -942 704,07	\$ -956 982,40	\$ -971 431,19	\$ 1 256 393,14
<b>VAN</b>		<b>\$ -6 710 537,47</b>					

**NOTAS:**

Se asume un aumento en el precio de la electricidad del 5% anual  
 Se asume un aumento en salario mínimo del operario del equipo de 2.53% anual  
 Se asume un aumento en el valor de venta de la cerveza de un 1% anual

**Figura 12.** Flujo de caja con cotización (GE)

Además, se asumió que los operarios del equipo tendrán un aumento del salario de un 2,53% y el valor de venta de la cerveza tendrá un aumento de un 1% anual. Con esta información se calculó el monto económico a ahorrar para cada período. Se tiene, finalmente, que el valor actual neto del proyecto en el plazo estimado es de \$4 462 007,04. Con la ayuda de la hoja de cálculo se obtuvo el valor de la tasa interna de retorno estimada para el proyecto. Esta sería de un 40% de la inversión inicial. Con esto se concluye que el proyecto tendría un impacto positivo al generar ahorros a la empresa. Si el sistema no se instala, se seguirán obteniendo pérdidas por desperdicio. A largo plazo, esto representaría perder la oportunidad de reducir los costos asociados a la producción de la cerveza. Por otra parte, si se instala el sistema de separación, se obtiene la posibilidad de reducir costos y aumentar las ganancias con la venta del producto final. Por estas razones se recomienda seguir adelante con la inversión.

Año	0	1	2	3	4	5
<b>Costos de Inversión</b>						
Rubro 1	\$ 395 900,00					
Rubro 2	\$ 112 900,00					
Rubro 3	\$ 197 200,00					
Rubro 4	\$ 290 400,00					
Rubro 5	\$ 131 500,00					
Rubro 6	\$ 126 500,00					
Rubro 7	\$ 305 900,00					
Rubro 8	\$ 227 900,00					
Rubro 9	\$ 1 124 900,00					
Rubro 10	\$ 211 000,00					
Rubro 11	\$ 13 100,00					
Rubro 12	\$ 174 800,00					
Rubro 13	\$ 107 800,00					
Rubro 14	\$ 493 100,00					
Rubro 15	\$ 206 600,00					
Rubro 16	\$ 724 800,00					
Rubro 17	\$ 321 000,00					
Rubro 18	\$ 100 000,00					
<b>Inversión (-)</b>	<b>\$5 265 300,00</b>					
<b>Egresos (-)</b>						
Costos fijos						
Consumo eléctrico	\$ 9 909,74	\$ 10 405,23	\$ 10 925,49	\$ 11 471,76	\$ 12 045,35	\$ 12 632,60
Costos de Operación	\$ 8 118,21	\$ 8 323,60	\$ 8 534,19	\$ 8 750,11	\$ 8 971,48	\$ 9 192,87
Mantenimiento	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00
Pérdida por extracto para cerveza A	\$ 283 137,74	\$ 285 969,12	\$ 288 828,81	\$ 291 717,10	\$ 294 634,27	\$ 297 561,44
Pérdida por extracto para cerveza B	\$ 335 686,23	\$ 339 043,09	\$ 342 433,52	\$ 345 857,85	\$ 349 316,43	\$ 352 825,01
Pérdida por extracto para cerveza C	\$ 321 666,77	\$ 324 883,44	\$ 328 132,27	\$ 331 413,59	\$ 334 727,73	\$ 338 091,90
Pérdida por extracto para cerveza D	\$ 391 829,71	\$ 395 748,00	\$ 399 705,48	\$ 403 702,54	\$ 407 739,56	\$ 411 827,04
Depreciación (-)	(-)	\$ 526 530,00	\$ 526 530,00	\$ 526 530,00	\$ 526 530,00	\$ 526 530,00
Valor de rescate						\$ 2 632 650,00
Utilidad	\$ -5 265 300,00	\$ -848 818,39	\$ -862 842,47	\$ -877 029,76	\$ -891 382,95	\$ -905 969,04
<b>VAN</b>	<b>\$ -6 945 625,12</b>					

**NOTAS:**

Se asume un aumento en el precio de la electricidad del 5% anual  
 Se asume un aumento en salario mínimo del operario del equipo de 2.53% anual  
 Se asume un aumento en el valor de venta de la cerveza de un 1% anual

**Figura 13.** Flujo de caja con cotización (BU)

Año	0	1	2	3	4	5
<b>Costos de Inversión</b>						
Rubro 1	\$779 991,01					
Rubro 2	\$294 172,21					
Rubro 3	\$314 750,19					
Rubro 4	\$646 036,67					
Rubro 5	\$222 042,92					
Rubro 6	\$1 482 560,23					
Rubro 7	\$361 417,42					
Rubro 8	\$176 260,97					
Rubro 9	\$107 661,55					
Rubro 10	\$100 000,00					
<b>Inversión (-)</b>	<b>\$4 484 893,17</b>					
<b>Egresos (-)</b>						
Costos fijos						
Consumo eléctrico	\$ 11 643,94	\$ 12 226,14	\$ 12 837,45	\$ 13 479,32	\$ 14 153,29	\$ 14 867,26
Costos de Operación	\$ 8 118,21	\$ 8 323,60	\$ 8 534,19	\$ 8 750,11	\$ 8 971,48	\$ 9 192,87
Mantenimiento	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00	\$ 25 000,00
Pérdida por extracto para cerveza A	\$ 283 137,74	\$ 285 969,12	\$ 288 828,81	\$ 291 717,10	\$ 294 634,27	\$ 297 561,44
Pérdida por extracto para cerveza B	\$ 335 686,23	\$ 339 043,09	\$ 342 433,52	\$ 345 857,85	\$ 349 316,43	\$ 352 825,01
Pérdida por extracto para cerveza C	\$ 321 666,77	\$ 324 883,44	\$ 328 132,27	\$ 331 413,59	\$ 334 727,73	\$ 338 091,90
Pérdida por extracto para cerveza D	\$ 391 829,71	\$ 395 748,00	\$ 399 705,48	\$ 403 702,54	\$ 407 739,56	\$ 411 827,04
Depreciación (-)	(-)	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32	\$ 448 489,32
Valor de rescate						\$ 2 242 446,59
Utilidad con recuperación	\$ -4 484 893,17	\$ -928 593,28	\$ -942 704,07	\$ -956 982,40	\$ -971 431,19	\$ -985 969,04
Utilidad sin recuperación		\$ -2 894 396,18	\$ -2 923 340,14	\$ -2 952 573,55	\$ -2 982 099,28	\$ -3 011 920,27
Costos Ahorrados	\$ -4 484 893,17	\$ 1 965 802,91	\$ 1 980 636,07	\$ 1 995 591,15	\$ 2 010 668,09	\$ 2 025 811,42
<b>VAN</b>	<b>\$ 4 462 007,04</b>					
<b>TIR</b>	<b>40%</b>					

**NOTAS:**

Se asume un aumento en el precio de la electricidad del 5% anual  
 Se asume un aumento en salario mínimo del operario del equipo de 2.53% anual  
 Se asume un aumento en el valor de venta de la cerveza de un 1% anual

**Figura 14.** Flujo de caja ahorros (GE)

### 3.4. Estandarización de protocolos de operación en procesos de desalcoholización, fermentación, filtración de cerveza y en procesos de refrigeración con amoníaco.

Se hizo uso de la información de los procedimientos que se llevan a cabo en la desalcoholización, fermentación, filtración de cerveza y, además, en los procesos

de refrigeración con amoníaco para la sección de fermentación, con el propósito de generar una guía, paso a paso, de cómo se opera el proceso en específico. Para este propósito se llevaron a cabo entrevistas con técnicos en el proceso y con los ingenieros a cargo del mismo. También se consultó a los operarios la manera en la que se realizan estos procedimientos para concretar y estandarizar paso a paso el protocolo que se escribió.

Una vez desarrollado el Protocolo se implementó para confirmar que era funcional para todos los operarios del mismo.

La implementación consistió en que cada operario recorriera los diferentes procedimientos estandarizados, desde el inicio hasta el fin, acompañados del uso del protocolo. Cuando se determinó que el procedimiento podía ser fácilmente comprendido y concluido satisfactoriamente, se cumplía con el requisito de la implementación efectiva del mismo. Por otra parte, en el Cuadro 3.17 se observa el área y los nombres de los protocolos de operación estándar realizados durante el desarrollo de la práctica dirigida. A continuación se describirán los cambios o errores más comunes que se encontraron y el análisis que se realizó para efectuar los cambios.

#### **3.4.1. Estandarización de protocolos de operación en procesos de la planta desalcoholizadora.**

La sección de la planta desalcoholizadora era muy reciente en el momento en que se realizó el proyecto en la empresa. Esta planta es semi automatizada y la mayoría del proceso se controla desde las computadoras del cuarto de control de filtración. Para que la planta inicie el proceso de desalcoholización, primero se debe efectuar la limpieza de la misma. Durante este proceso de limpieza, hay algunos pasos en los que se debe asegurar que algunas válvulas estén abiertas y otras cerradas en diferentes momentos. Estandarizar ese conocimiento fue importante para evitar la contaminación de sustancias químicas en el proceso o, inclusive, contaminación cruzada entre secciones. Esto se debe a que la planta se divide en diferentes secciones. Una de estas secciones, son las líneas de llenado de la planta, y las otras secciones, son los tanques de almacenamiento de la cerveza por des-alcoholizar y los tanques de cerveza des-alcoholizada. Estas secciones debían ser sanitizadas por separado.

**Cuadro 3.17.** Sobre los SOPs desarrollados en la empresa como parte de la Práctica Dirigida.

Número	Area	Nombre
1	Planta Desalcoholizadora	SOP Limpieza de Planta Desalcoholizadora
2	Planta Desalcoholizadora	SOP Limpieza de Líneas de llenado
3	Planta Desalcoholizadora	SOP Limpieza de Tanques
4	Planta Desalcoholizadora	SOP Preparación de Soda para limpieza
5	Planta Desalcoholizadora	SOP Desalcoholización de Cerveza
6	Fermentación	SOP Bombeo de Enzima
7	Fermentación	SOP Levadura de Venta
8	Fermentación	SOP Cambio y limpieza de empaques en paneles de distribución
9	Fermentación	SOP Limpieza de Línea de dióxido de carbono
10	Refrigeración con NH <sub>3</sub>	SOP Limpieza de válvulas automáticas reguladoras de flujo
11	Refrigeración con NH <sub>3</sub>	SOP Purgas de válvulas Amoníaco
12	Refrigeración con NH <sub>3</sub>	SOP Reestablecimiento del sistema eléctrico después de caída de voltaje
13	Refrigeración con NH <sub>3</sub>	SOP Regulación Válvulas de Amoníaco
14	Refrigeración con NH <sub>3</sub>	SOP Calibración de sondas de Temperatura en tanques de fermentación
15	Refrigeración con NH <sub>3</sub>	SOP Purgas de Aceite en Separadores de Amoníaco
16	Filtración	SOP Manipulación del alcoholímetro digital
17	Filtración	SOP CIP de línea de envío de cerveza hacia llenadoras
18	Filtración	SOP CIP filtración de Lúpulo
19	Filtración	SOP CIP Llenado de tuberías de tanques hasta bocas de llenadoras
20	Filtración	SOP Nueva línea para CIP entre tanques de fermentación y filtros
21	Filtración	SOP Utilización de tanques de cerveza pulida como tanques de agua
22	Filtración	SOP Muestreo de concentración de material filtrante

Para esta sección, también fue de gran importancia estandarizar el procedimiento para la preparación de la soda cáustica. Esta sustancia se debe manejar con cuidado ya que es altamente corrosiva y puede producir quemaduras en la piel. Un factor importante fue asegurar que los operarios utilizaran siempre el equipo de protección necesario cuando se estuviera manipulando la sustancia. Finalmente, durante el proceso de des-alcoholización, se estandarizaron los pasos a seguir para el correcto funcionamiento del sistema semi-automatizado. Principalmente, fue importante

que los operarios del proceso conocieran cuáles y que valores se deben tener como parámetros de las unidades físicas con las que el equipo funciona. Por ejemplo, valores como presión, temperatura o pH del proceso. De esta manera se asegura que el producto tiene la calidad esperada.

### **3.4.2. Estandarización de protocolos de operación en procesos de la sección de Fermentación.**

En la sección de fermentación se implementó el bombeo de una enzima como parte del proceso de producción para ayudar en la filtración. Se desarrollaron protocolos para que los operarios tengan conocimiento de los momentos en los que se debe bombear el producto y las diferentes concentraciones que se utilizan de acuerdo a las características del mosto que se esté bombeando a fermentación. El factor principal a considerar en este procedimiento fue que los operarios no utilizaran más producto del necesario para el proceso. También se implementó un nuevo sistema en el que se cocina la levadura que se extrae de las purgas, una vez finalizado el proceso de fermentación. Esta levadura debe ser tratada con calor para deshabilitar su reproducción. Este proceso de venta de levadura utiliza vapor a alta presión y altas temperaturas. Por esta razón, es de gran importancia que los operarios del proceso tengan conocimiento de las válvulas a utilizar y en qué momentos activarlas. Por otra parte, el proceso debe ser coordinado con la recolección de la levadura de venta, por lo que fue necesario estandarizar los tiempos de proceso para utilizar el tiempo de los equipos de la mejor manera y que no se desperdicie energía innecesariamente. Luego, la estandarización del proceso de la limpieza de los empaques en los paneles de distribución fue necesaria ya que en el proceso se tienen paneles de distribución de distintos modelos y tamaños. En algunas ocasiones los operarios no tenían claro cómo manipular las diferentes válvulas y empaques. Estas válvulas se deben desarmar y armar como parte del proceso. Es de vital importancia que los operarios tengan conocimiento de los repuestos que se necesitan en caso de que se encuentre una sección dañada. A través de estos empaques se realizan los cambios de tuberías para las limpiezas, los trasiegos de cerveza madura o levadura de venta a diferentes partes del proceso, dependiendo de la necesidad. Si estas válvulas no funcionan

correctamente, podrían suceder accidentes en detrimento de la seguridad de los colaboradores, o podrían darse contaminaciones de sustancias químicas o no deseadas. Por último, el proceso de limpieza de la línea de dióxido de carbono requiere un protocolo minucioso ya que este proceso requiere de la colaboración y coordinación entre el departamento de sala de máquinas y el de fermentación. Por otra parte, la manipulación de grandes cantidades de dióxido de carbono a altas presiones y en ambientes cerrados, siempre supone un riesgo alto para la salud. Por esta razón, fue necesario estandarizar el proceso para guiar a los operarios paso a paso y evitar condiciones inseguras.

### **3.4.3. Estandarización de protocolos de operación en procesos de Refrigeración con Amoníaco**

El sistema de refrigeración con amoníaco es de vital importancia para la sección de bodegas frías. Existen válvulas de flujo de amoníaco que se pueden controlar desde paneles para escoger la temperatura a la que deben estar las distintas secciones de los tanque de fermentación. Estas válvulas deben ser revisadas constantemente, al igual que las trampas de aceite y todo el sistema en general. Debido al uso constante de este sistema, es normal que el aceite que se utiliza se contamine y arrastre suciedad. Esta suciedad puede llegar a impedir el correcto funcionamiento de las válvulas de amoníaco y hasta llegar a bloquearlas. Se hicieron necesarios protocolos que atendieran las necesidades de este sistema para que los mismos operarios de fermentación tengan conocimiento de cómo resolver problemas y darle mantenimiento rutinario al sistema sin depender del departamento de mantenimiento en todo momento. Por otra parte, el amoníaco es una sustancia altamente peligrosa debido a los volúmenes y presiones que se manejan en el proceso. Esta es otra razón por la cual confeccionar un protocolo que contemple las condiciones seguras de manipulación también se hace importante y de esta manera reducir al máximo los riesgos de salud ocupacional.

#### **3.4.4. Estandarización de protocolos de operación en procesos de Filtración**

En la sección de filtración se implementó el uso de un nuevo alcoholímetro digital para corroborar que los valores del producto final cumplen con las especificaciones. Se desarrolló un estándar de operación a partir del manual de uso del dispositivo para facilitar la comprensión del uso del dispositivo por parte de los operarios. Por otra parte, existen procesos varios en la sección de filtración en los que se identificó que algunos operarios no efectuaban de la misma manera. Inclusive existían operarios que no tenían conocimiento de cómo proceder. Por esta razón, algunos de estos procesos se debían retrasar hasta que un operario que conociera del mismo estuviera presente. Con estos estándares se logró homogeneizar el conocimiento y asegurar que el proceso se pueda efectuar independientemente del operario que esté en funciones.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ☞ Para la pérdida real de extracto, en la sección de cocimiento; las marcas de cervezas que más pérdida presentan son la C y la D, con un valor de 1,72 % y 1,88 % respectivamente, luego la cerveza B con un 1,61 % y con un valor de 1,37 %, la Cerveza A. La cerveza D mostró ser la de mayor pérdida en esta sección debido a que en su receta utiliza maltas y fuentes líquidas que aportan extracto.
- ☞ Para la pérdida real de extracto en la sección de fermentación, las marcas C y D presentan la menor pérdida, con un valor de 3,81 % y 3,76 % respectivamente. Esto debido al diseño de las curvas de fermentación que promueven un menor desperdicio de extracto disponible al reducir la cantidad de levadura producida. Para las Cervezas A y B se obtuvieron valores mayores de pérdida de extracto, con un valor de 4,01 % y 4,14 %, respectivamente debido a que estas cervezas producen más levadura como consecuencia de sus curvas de reducción de extracto.
- ☞ La pérdida real de extracto en la sección de filtración representó el menor punto de pérdida para el proceso. Para la Cerveza A con un valor de 0,53 %, para la cerveza B en 0,91 %, para la cerveza C en 0,79 % y para la cerveza D en 0,93 %. Para la sección de filtración, la cerveza A presenta el menor valor de pérdida al ser la cerveza con menor concentración de extracto.
- ☞ Se determinó que la pérdida real de extracto para el proceso completo de producción de la cerveza siguió la tendencia esperada para todas las marcas de cerveza, en la que la cerveza B mostró el mayor valor de pérdida, específicamente el valor de 6,65 %, mientras que para la Cerveza A se tuvo el menor valor, específicamente de 5,91 %.
- ☞ La pérdida tecnológica de extracto en la sección de cocimiento se calculo, para la Cerveza A en 1,10 %, para la cerveza B en 1,23 %, para la cerveza C en 1,22 % y para la cerveza D en 1,16 %, obteniendo así que la marca A es la que

muestra la mayor desviación entre las distintas marcas, con un porcentaje de desviación de 6,58 % con respecto a la media.

- ☞ Se identificó que la pérdida tecnológica de extracto para la sección de fermentación mostró el mismo valor 3,55 % para todas las marcas de cerveza, al igual que para la sección de filtración, con un valor de 0,41 %. Esto debido a que para las Cervezas A, B, C y D, las secciones de fermentación y filtración utilizan las mismas tecnologías, independientemente de la marca.
- ☞ Se encontró que la cerveza B presenta el mayor valor de pérdida tecnológica, con un 4,94 % para el proceso total. Por otra parte, las marcas A, C y D, presentan valores de 4,82 %, 4,93 % y 4,87 %, respectivamente.
- ☞ Se comprobó que alrededor del 80 % de la pérdida real se acumula en las secciones de fermentación y cocimiento. En específico, más del 50 % de la pérdida total se encontró, exclusivamente, en la sección de fermentación.
- ☞ Se determinó que un equipo de separación de levadura permitiría obtener valores de pérdida de extracto anuales en la sección de fermentación de 89 743,34 kg para la cerveza A, 115 139,03 kg para la cerveza B, 110 330,41 kg para la cerveza C y 120 202,38 kg para la cerveza D.
- ☞ Se determinó que, si se compara el escenario en el que se lleva a cabo el proyecto del sistema de separación de levadura sugerido, se obtendría, en contraposición con el caso en el que no se desarrolla el proyecto, un VAN de \$4 462 007,04. Aunado a esto, se consigue una tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto de un 40 %.
- ☞ A partir del desarrollo de protocolos de operación para los procesos de desalcoholización, fermentación, filtración de cerveza y en procesos de refrigeración con amoníaco, se normalizaron diversos procesos que previamente no estaban correctamente estandarizados.
- ☛ Se recomienda realizar un estudio para la marca de mayor producción, con diferentes técnicas de medición de extracto a las utilizadas en este trabajo. De

esta manera, se lograrían replicar los datos obtenidos en este estudio.

- Se recomienda realizar un análisis a largo plazo para obtener información más robusta y que permita actualizar la herramienta utilizada para la determinación de la pérdida de extracto tecnológica con el fin de abarcar un mayor rango de opciones en las posibles tecnologías aplicadas en una cervecería.
- Se recomienda efectuar paros en la producción para cuantificar la merma asociada a la olla Whirlpool en otras marcas distintas de cerveza a la ya analizada. Esto debido a que en este trabajo sólo se logró analizar la cerveza D, que era la última que se producía a finales de semana con el fin de no generar paros en la producción.
- Se recomienda extender el estudio de la pérdida real y tecnológica hasta las secciones de embotellado y transporte con el fin de comprender la totalidad del origen de la merma en la empresa. Esto debido a que en los límites que originalmente se propusieron en el presente trabajo, se dejaron por fuera esas secciones de la cadena.



## BIBLIOGRAFÍA

- ACE (2011). *Asociacion de Cerveceros Españoles*. Murica.
- Bernanke, B. y Frank, R. (2018). *Principles of Economics*. New York:McGraw-Hill Education, 7ma edición.
- Briggs, D., B. C. B. P. y Stevens, R. (2014). *Brewing Science and Practice*. Florida: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Buiatti, S. (2009). *Beer composition: an overview*. Elsevier.
- Carlberg, C. (2006). *Análisis de los negocios con Excel XP*. Pearson Educación.
- Cerveceros de España (2001). *Libro blanco de la cerveza*. Cerveceros de España.
- CNFL (20 de octubre de 2020). *Tarifa Industrial*. <https://www.cnfl.go.cr/servicios-electricos-para-inmuebles/tarifas-vigentes/tarifa-industrial-t-in>.
- Grassi, S., Amigo, J. M., Lyndgaard, C. B., Foschino, R., y Casiraghi, E. (2014). Beer fermentation: Monitoring of process parameters by ft-nir and multivariate data analysis. *Food chemistry*, 155:279–286.
- Guercia, H. (2011). *Medicion del grado plato en lines durante el de fermentacion de la cerveza, a traves del DT302 Transmisor de Densidad de Smar*. Brasil: Smar Internacional.
- Harris, D. C. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Reverté.
- Hartl, G. y Garwood, P. (2018). Harmful use of alcohol kills more than 3 million people each year, most of them men.
- Isela, R. (2021). *Lista de ocupaciones clasificada por el personal técnico del Departamento*. San José: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- Mangelsen, J. (2015). *Operating Manual: Dealcoholisation Unit*. Maintal: Centec.
- Paar, A. (2018). *Densímetro*. Anton Paar.

Reed, G. y Nagodawithana, T. (2012). *Yeast Technology*. New York: Springer Science Business Media.

Renger, R. S. (2012). *Extract loss benchmark model - EBM*. Amsterdam: Heineken Supply Chain.

Roche, H. E. y Garcia, L. M. (2014). *Curso General de Fabricación de Cerveza*. Madrid: Escuela superior de cerveza y malta.

Visscher (2012). *Extract loss benchmark model*. Amsterdam: Heineken Supply Chain.

# APÉNDICES

## A. Datos Experimentales

**Cuadro A.1.** Datos experimentales obtenidos para la determinación del Extracto total disponible en el Afrecho

Muestra	Marca de Cerveza	Humedad en Afrecho Presecado (%/m/m)		Extracto en Filtrado Digerido		Extracto en Solución filtrada	
		A	P	(P)	P	(E)	P
C-A-1	A	7,23	0,52	0,19	0,19	0,28	0,28
C-A-2	A	3,85	0,66	0,31	0,31	0,18	0,18
C-A-3	A	4,50	0,65	0,78	0,78	0,31	0,31
C-A-4	A	5,45	0,51	0,43	0,43	0,45	0,45
C-A-5	B	3,94	0,78	0,27	0,27	0,49	0,49
C-A-6	B	3,89	0,51	0,25	0,25	0,66	0,66
C-A-7	B	4,10	0,67	0,66	0,66	0,52	0,52
C-A-8	B	3,76	0,81	0,56	0,56	0,61	0,61
C-A-9	C	3,82	0,78	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-10	C	4,61	0,64	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-11	C	3,20	0,68	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-12	C	3,28	0,85	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-13	D	4,80	0,85	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-14	D	3,85	0,74	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-15	D	3,71	0,80	0,66	0,66	0,61	0,61
C-A-16	D	3,24	0,63	0,66	0,66	0,61	0,61

**Cuadro A.2.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza A

Muestra	# Tanque	Volumen Llenado del Tanque V (hl)	Extracto Original (OUT) (P)	Volumen BOMBEO (hl)	Tipo de purga	Volumen de Purga (hl)
A-F-1	25	3128	12,27	3128	3	22
A-F-2	30	3072	11,84	3072	2	15
A-F-3	30	3072	11,84	3072	3	11
A-F-4	2	3201	11,54	3201	2	24
A-F-5	50	798	11,94	798	1	30
A-F-6	24	2397	11,68	2397	2	15
A-F-7	27	3157	11,80	3157	1	100
A-F-8	9	3190	11,85	3190	2	22
A-F-9	17	3151	11,42	3151	1	115
A-F-10	9	3190	11,85	3190	3	21

**Cuadro A.3.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza B.

Muestra	# Tanque	Volumen Llenado del Tanque V (hl)	Extracto Original (OUT) (P)	Volumen BOMBEADO (hl)	Tipo de purga	Volumen de Purga (hl)
B-F-1	35	3214	15,05	3081,00	2	26
B-F-2	23	3203	15,02	3068,00	3	33
B-F-3	23	3191	15,03	3095,00	3	24
B-F-4	34	3191	14,89	3125,00	1	127
B-F-5	10	3161	14,96	3032,00	3	12
B-F-6	4	3210	14,80	3120,00	2	18
B-F-7	1	3203	14,47	3126,00	1	114
B-F-8	35	3203	14,92	3033,00	3	24
B-F-9	7	3192	14,59	3114,00	1	100
B-F-10	7	3192	14,59	3114,00	2	19
B-F-11	10	3191	14,85	3128,00	2	22
B-F-12	10	3191	14,85	3128,00	3	16
B-F-13	45	1583	15,25	1505,00	1	43
B-F-14	5	3182	14,76	3091,00	3	26
B-F-15	31	3190	14,82	3107,00	3	25
B-F-16	23	3186	14,87	3131,00	3	25

**Cuadro A.4.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza C.

Muestra	# Tanque	Volumen Llenado del Tanque V (hl)	Extracto Original (OUT) (P)	Volumen BOMBEO (hl)	Tipo de purga	Volumen de Purga (hl)
C-F-1	8	3228	14,87	3078,00	3	19
C-F-2	26	2359	15,32	2300,00	2	17
C-F-3	6	3201	15,02	3050,00	3	20
C-F-4	13	3153	14,91	3014,00	2	22,67
C-F-5	10	3219	15,03	3130,00	2	34
C-F-6	31	3259	14,88	3171,00	1	90
C-F-7	5	3259	14,78	3169,00	2	25
C-F-8	28	3270	14,66	3190,00	1	105
C-F-9	16	3247	14,71	3142,00	2	24
C-F-10	24	3256	14,71	3124,00	3	16
C-F-11	16	3247	14,71	3142,00	3	24
C-F-12	31	3259	14,88	3171,00	3	22
C-F-13	13	3049	14,37	3002,00	1	72
C-F-14	13	3049	14,37	3002,00	3	11
C-F-15	20	3259	14,62	3190,00	1	105
C-F-16	30	3255	14,75	3184,00	2	26
C-F-17	20	3259	14,62	3190,00	3	16
C-F-18	6	3254	14,70	3176,00	2	28
C-F-19	21	3229	14,65	3187,00	3	14

**Cuadro A.5.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la merma en fermentación para la cerveza D.

Muestra	# Tanque	Volumen Llenado del Tanque V (hl)	Extracto Original (OUT) (P)	Volumen Bombeado (hl)	Tipo de purga	Volumen de Purga (hl)
D-F-1	1	3230	14,22	3163,00	2	22
D-F-2	28	3239	14,25	3118,00	2	25
D-F-3	20	3239	13,87	2361,00	1	85
D-F-4	20	2409	13,87	2361,00	2	24
D-F-5	32	2450	13,51	2442,00	2	12
D-F-6	26	3275	14,09	3132,00	1	97
D-F-7	8	3255	13,89	3161,00	2	22
D-F-8	22	3231	14,13	3161,00	1	110
D-F-9	27	3245	14,17	3132,00	1	78
D-F-10	22	3231	14,13	3161,00	2	12
D-F-11	22	3231	14,13	3161,00	3	19
D-F-12	14	3247	13,97	3147,00	2	11
D-F-13	29	3248	13,91	3218,00	2	9
D-F-14	16	2929	13,77	2873,00	1	125
D-F-15	35	3311	13,67	2989,00	3	12
D-F-16	16	3258	13,77	2873,00	3	13

**Cuadro A.6.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la pérdida de extracto en la purga antes del tanque buffer 1.

Marca	Extracto Original Cerveza Madura (P)	Volumen Analizado (hl)
A	15,55	4
A	14,77	5
A	14,06	4
A	14,36	5
A	14,91	4
B	12,27	6
B	13,87	3
B	13,9	5
B	14,29	4
C	14,61	5
C	13,78	4
C	14,92	4
C	14,47	5
C	13,91	4
D	11,54	6
D	14,76	7
D	14,8	4
D	14,39	4

**Cuadro A.7.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la pérdida de extracto en la separación agua-cerveza.

Marca	Extracto Original Cerveza Madura (P)	Volumen Analizado (últimos) (hl)	Extracto original de Purga (P)
A	14,41	30	2,09
A	14,91	30	2,25
A	13,9	30	3,14
B	14,29	30	3,06
B	13,76	30	2,82
B	14,06	30	3,11
C	14,92	30	3,46
C	13,91	30	2,47
C	14,76	30	3,45
D	14,8	30	3,52
D	13,67	30	3,01
D	13,67	20	2,94

**Cuadro A.8.** Datos obtenidos en el campo para la determinación de la pérdida de extracto en el empuje final a los tanques de cerveza filtrada y pulida.

Marca	Volumen Analizado (últimos) (hl)	Extracto original de Purga (P)
A	35	4,2
A	35	4,43
A	35	4,26
B	35	4,54
B	35	4,88
B	35	4,83
C	35	4,31
C	35	4,3
C	35	4,47
D	35	4,67
D	35	4,93
D	35	4,95

## B. Resultados Intermedios

**Cuadro B.9.** Datos intermedios obtenidos para la determinación del Extracto total disponible en el Afrecho como base húmeda y base seca

Muestra	Marca de Cerveza	Extracto soluble (%m/m)	Extracto Total disponible en Base húmeda (%m/m)	Extracto Total disponible en Base Seca (%m/m)
C-A-1	A	2,27	3,70	3,98
C-A-2	A	3,22	5,80	6,04
C-A-3	A	2,89	4,99	5,26
C-A-4	A	3,04	5,26	5,55
C-A-5	B	3,57	7,63	7,94
C-A-6	B	3,22	3,53	3,67
C-A-7	B	4,97	5,96	6,21
C-A-8	B	5,18	8,09	8,40
C-A-9	C	3,11	7,63	7,93
C-A-10	C	5,70	5,50	5,77
C-A-11	C	2,86	6,10	6,31
C-A-12	C	7,58	8,69	8,99
C-A-13	D	8,90	10,54	10,89
C-A-14	D	6,00	7,02	7,30
C-A-15	D	6,46	7,93	8,24
C-A-16	D	8,34	10,32	10,78

**Cuadro B.10.** Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de cerveza A.

Muestra	Volumen		Masa del Recipiente vacío (g)	Masa de sólidos y recipiente en Muestra (g)	Masa de sólidos en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra sin masa de recipiente (g)
	total de Muestra después de centrifugar (ml)	sólidos en Muestra después de centrifugar (ml)					
A-F-1	22,50	10,00	25,32	49,06	23,74	72,36	47,04
A-F-2	39,00	15,00	30,88	65,90	35,02	109,62	78,74
A-F-3	29,00	14,00	30,96	61,19	30,23	89,25	58,29
A-F-4	42,00	22,00	30,88	79,99	49,11	114,32	83,44
A-F-5	50,00	26,00	25,55	87,08	61,53	133,90	108,35
A-F-6	35,00	14,00	25,38	55,85	30,47	99,30	73,92
A-F-7	40,00	17,50	25,55	67,15	41,60	109,33	83,78
A-F-8	45,00	22,50	26,45	73,08	46,63	116,77	90,32
A-F-9	44,00	23,00	25,55	74,33	48,78	117,65	92,10
A-F-10	39,00	16,00	25,23	62,70	37,47	109,77	84,54

**Cuadro B.11.** Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de cerveza B

Muestra	Volumen total del Muestra después de centrifugar (ml)	Volumen sólidos en Muestra después de centrifugar (ml)	Masa del Recipiente vacío (g)	Masa de sólidos y recipiente en Muestra (g)	Masa de sólidos en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra sin masa de recipiente (g)
	B-F-1	27,50	11,00	25,46	49,55	24,09	80,06
B-F-2	24,00	12,00	30,90	58,99	28,09	82,49	51,59
B-F-3	40,00	16,00	25,54	65,24	39,70	111,26	85,72
B-F-4	41,00	24,00	25,54	78,74	53,20	112,30	86,76
B-F-5	29,00	11,00	25,44	51,63	26,19	83,65	58,21
B-F-6	27,50	10,00	25,46	48,25	22,79	81,70	56,24
B-F-7	40,00	21,00	15,50	39,07	23,57	56,37	40,87
B-F-8	35,00	16,00	28,20	63,96	35,76	102,30	74,10
B-F-9	38,00	16,00	25,81	66,48	40,67	106,40	80,59
B-F-10	29,00	14,00	30,96	61,22	30,26	89,30	58,34
B-F-11	40,00	12,00	25,55	50,18	24,63	103,13	77,58
B-F-12	44,00	20,00	25,19	62,08	36,89	108,78	83,59
B-F-13	47,50	24,00	25,41	78,48	53,07	125,97	100,56
B-F-14	47,50	22,50	25,40	75,16	49,76	129,17	103,77
B-F-15	32	17,5	26,28	59,19	32,91	85,74	59,46
B-F-16	25	12,5	26,39	55,58	29,19	81,7	55,31

**Cuadro B.12.** Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de la cerveza C.

Muestra	Volumen total del Muestra después de centrifugar (ml)	Volumen sólidos en Muestra después de centrifugar (ml)	Masa del Recipiente vacío (g)	Masa de sólidos y recipiente en Muestra (g)	Masa de sólidos en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra sin masa de recipiente (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra (g)
C-F-1	20,00	5,00	25,10	35,17	10,07	65,48	40,38
C-F-2	42,50	14,00	25,25	56,33	31,08	113,26	88,01
C-F-3	43,50	18,00	25,20	63,31	38,20	112,23	87,03
C-F-4	37,50	17,00	25,59	65,16	39,57	101,13	75,54
C-F-5	15,75	5,00	25,47	41,20	15,73	62,50	37,03
C-F-6	47,50	23,00	30,80	80,16	49,36	127,92	97,12
C-F-7	36,00	16,00	28,35	62,84	34,49	102,09	73,74
C-F-8	24,00	12,00	30,90	59,15	28,25	82,49	51,59
C-F-9	35,00	14,00	28,19	63,93	35,74	102,32	74,13
C-F-10	35,00	20,00	28,24	75,64	47,40	101,87	73,63
C-F-11	34,00	16,00	30,96	68,52	37,56	98,93	67,97
C-F-12	42,00	19,00	25,50	66,43	40,93	108,92	83,42
C-F-13	32,00	18,00	25,60	62,37	36,77	87,97	62,37
C-F-14	47,00	25,00	25,41	80,62	55,21	124,27	98,86
C-F-15	48,00	26,00	25,55	82,01	56,46	126,21	100,66
C-F-16	40,00	14,00	25,45	59,18	33,73	108,98	83,53
C-F-17	35,00	20,00	25,98	76,72	50,74	103,28	77,30
C-F-18	42,00	13,00	26,10	58,10	32,00	110,54	84,44
C-F-19	34,00	17,00	25,60	64,02	38,42	97,15	71,55

**Cuadro B.13.** Determinación de masas y volúmenes de muestras recolectadas en el campo para la obtención de la concentración de levadura en purgas de cerveza D.

Muestra	Volumen total del Muestra después de centrifugar (ml)	Volumen sólidos en Muestra después de centrifugar (ml)	Masa del Recipiente vacío (g)	Masa de sólidos y recipiente en Muestra (g)	Masa de sólidos en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra (g)	Masa de sólidos y líquido en Muestra sin masa de recipiente (g)
D-F-1	37,50	20,00	25,62	72,58	46,96	105,54	79,92
D-F-2	42,50	17,00	25,62	62,31	36,69	111,77	86,15
D-F-3	36,00	18,00	26,08	69,24	43,16	101,18	75,10
D-F-4	32,00	14,00	25,29	60,50	35,21	93,58	68,29
D-F-5	27,50	10,00	25,44	44,39	26,19	79,52	54,08
D-F-6	29,00	15,00	31,27	64,38	33,11	89,69	58,42
D-F-7	40,00	17,50	30,76	71,02	40,26	115,52	84,76
D-F-8	26,00	15,00	25,54	57,94	32,40	80,75	55,21
D-F-9	38,00	22,00	25,63	73,18	47,55	102,52	76,89
D-F-10	42,50	15,00	31,18	67,46	36,28	118,38	87,20
D-F-11	35,00	10,00	25,38	51,50	26,12	100,66	75,28
D-F-12	42,40	17,00	25,39	62,24	36,85	111,80	86,41
D-F-13	49,00	22,00	25,39	76,12	50,73	130,16	104,77
D-F-14	47,50	22,50	25,55	77,30	51,75	127,06	101,51
D-F-15	42,00	22,00	25,70	71,49	45,79	103,78	78,08
D-F-16	30,00	15,00	26,09	58,90	32,81	88,32	62,23

