



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y
MATERIALES

DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA CERVECERA CON LA UTILIZACIÓN DE FRUTAS DE DESCARTE COMO INSUMO CLAVE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

BENJAMÍN LEÓN MEDINA CABRERA

PROFESOR GUÍA:

Juan Asenjo de Leuze de Lancizolle

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Ziomara Gerdtzen Hakim

Álvaro Olivera Nappa

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por:

Brebajería Lo Cañas SpA

SANTIAGO DE CHILE

2023

DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA CERVECERA CON LA UTILIZACIÓN DE FRUTAS DE DESCARTE COMO INSUMO CLAVE

En este documento se dimensiona una planta cervecera con una capacidad de 10.000 litros mensuales que utiliza fruta de descarte como insumo clave. En estas páginas se encontrará con el diseño de toda la línea productiva de la cerveza, como también de una línea adyacente de pulpas de fruta para poder procesar la fruta de descarte. Junto con lo anterior, existe el balance de masa para la planta completa, un análisis ambiental, productivo y económico.

Se concluye que el proyecto es viable ambiental y productivamente (se proponen mejoras sin embargo) pero que económicamente no es rentable en su estado base. Con un VAN de de -\$6743 *USD* y un TIR de 11,55 %, el proyecto dimensionado no es atractivo económicamente. Para que sea lucrativo este proyecto, se necesita aumentar la producción. Si se compra un fermentador de 2.000 *L* anualmente desde el año 2 al año 9, los KPIs económicos mejoran considerablemente. El VAN aumenta a \$911.695 *USD* y el TIR a 41,72 %. Estos valores son atractivos para el mandante y con esta alternativa, se recupera el dinero al cuarto año.

Explicado de manera simple, este proyecto es un buen punto de partida para la meta de la empresa de tener su propia planta pero se tiene que seguir mejorando y ampliando para poder que existan réditos económicos.

El éxito es 99 % fracaso
Soichiro Honda

Agradecimientos

Queridos amigos y familiares,

Quiero dedicar este trabajo a todos aquellos que me han apoyado a lo largo de mi vida, especialmente durante esta etapa tan importante de mi formación académica. A mis padres, por su amor incondicional y constante apoyo. A mis amigos, por su compañía y por hacer de cada momento una experiencia inolvidable. A mis profesores y tutores, por su paciencia, sabiduría y guía en este proceso de aprendizaje. Por último, agradecer a todas las personas que fueron parte esencial de cada etapa en mi educación que me llevo a estar en este punto en mi vida.

Este trabajo es el resultado de un esfuerzo conjunto y de la dedicación de muchas personas. Espero que esta tesis sea una muestra de mi compromiso y pasión por el desarrollo de soluciones innovadoras. Sin su ayuda, esto no habría sido posible.

¡Gracias por ser parte de este logro!

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Antecedentes	4
3.1. Elaboración de cerveza	4
3.2. Elaboración pulpas de fruta	9
3.3. Proceso elaboración cervezas Benbräu	11
4. Metodología	12
5. Caracterización de la fruta	13
5.1. Piña	13
5.2. Mango	14
5.3. Maracuyá	14
6. Bases del proyecto	16
6.1. Bases de diseño	16
6.1.1. Bases generales	16
6.1.2. Bases específicas	16
6.2. Límites de batería	16
6.3. Diagrama de bloques agrupado del proceso	17
6.4. Alcances	18
6.4.1. Inclusiones	18
6.4.2. Exclusiones	18
7. Selección y dimensionamiento de equipos	19
7.1. Equipos principales	19
7.2. Dimensionamiento	20
7.3. Resumen equipos	33
8. Balances de masa	34
8.1. Balance por equipo	34
8.2. Balance global	39
9. <i>Layout</i> y estrategia de operación	41

9.1. Layout	41
9.2. Estrategia de operación	48
10. Estudio de factibilidad	50
10.1. Parámetros ambientales	51
10.1.1. Consumo de agua	51
10.1.2. Consumo de energía	51
10.1.3. Generación de residuos	52
10.2. Parámetros productivos	53
10.2.1. Rendimiento	53
10.2.2. Equipos	53
10.2.3. Personal	54
10.3. Parámetros económicos	54
10.3.1. CAPEX	54
10.3.2. OPEX	57
10.3.3. Flujo de caja	58
11. Discusiones	61
12. Conclusiones	66
Bibliografía	67

Índice de Tablas

7.1.	Resumen dimensionamiento equipos.	33
8.1.	Balance de masa molino.	35
8.2.	Balance de masa macerador.	36
8.3.	Balance de masa hervidor.	36
8.4.	Balance de masa IC.	37
8.5.	Balance de masa hidratador de levadura.	37
8.6.	Balance de masa fermentador.	38
8.7.	Balance de masa bins limpieza.	38
8.8.	Balance de masa despulpadora.	39
8.9.	Balance de masa pasteurizador.	39
8.10.	Balance de masa global.	39
10.1.	Consumo de energía equipos principales.	52
10.2.	Porcentaje CAPEX costos directos.	55
10.3.	Porcentaje CAPEX costos indirectos.	55
10.4.	Resumen precios equipos.	56
10.5.	CAPEX.	57
10.6.	Valor CAPEX costos directos.	57
10.7.	Valor CAPEX costos indirectos.	57
10.8.	OPEX.	57
10.9.	Valor costos fijos mano de obra.	58
10.10.	Valor costos fijos generales.	58
10.11.	Valor costos variables.	58
10.12.	Flujo de caja del año 0 hasta el año 5.	59
10.13.	Flujo de caja del año 6 hasta el año 10.	60
10.14.	Valor actual neto.	60
10.15.	Tasa interna de retorno.	60
11.1.	Resumen KPIs ambientales.	61
11.2.	Resumen KPIs productivos.	62
11.3.	Resumen KPIs económicos.	63
11.4.	Flujo de caja mejorado del año 0 hasta el año 5.	64
11.5.	Flujo de caja mejorado del año 6 hasta el año 10.	65

Índice de Ilustraciones

3.1.	Germinado industrial.	5
3.2.	Macerado de la malta.	6
3.3.	Batería de fermentadores en una cervecería artesanal.	7
3.4.	Diagrama de bloques elaboración pulpas de fruta [?]	9
3.5.	Despulpadora abierta para observar su mecanismo interior.	10
6.1.	Límites de batería del proceso. <i>Elaboración Propia.</i>	17
6.2.	Diagrama de bloques agrupado para la producción de cerveza con adición de fruta. <i>Elaboración Propia.</i>	18
7.1.	Diagrama temperaturas intercambiador de calor contracorriente [24].	23
8.1.	Diagrama de bloques del proceso.	35
9.1.	Equipo para la molienda de la malta.	42
9.2.	Brewhouse de la planta.	42
9.3.	Cold liquor tank.	43
9.4.	Caldera eléctrica.	43
9.5.	Fermentador 1000 litros efectivos.	43
9.6.	Tanque de glicol.	44
9.7.	<i>Chiller.</i>	44
9.8.	Sistema de control PID.	45
9.9.	Sistema OR.	45
9.10.	Limpiador de barriles con 1 cabezal.	45
9.11.	Bines limpieza fruta.	46
9.12.	Despulpadora de fruta.	46
9.13.	Pasteurizador pulpa de fruta.	47
9.14.	<i>Layout</i> propuesto planta productiva.	47
10.1.	Organigrama de la empresa.	54

Capítulo 1

Introducción

El presente documento presenta como tema de memoria el dimensionamiento de una planta cervecera para 10.000 litros mensuales con la utilización de fruta de descarte como ingrediente clave para la empresa Brebajería Lo Cañas SpA.

La cerveza es considerado el brebaje más antiguo de la historia. Hace más de 5000 años en Mesopotamia ya se bebía este elixir que se elaboraba a partir de un pan llamado *bappir*. Este lo remojaban, dejaban que fermentara (azúcares del pan eran la comida para la levadura) para luego colarlo y quedarse con el líquido que hoy llamaríamos cerveza [1].

Los egipcios, germanos y bretones luego adoptaron este brebaje, perfeccionando las técnicas y acercándose a los procesos de hoy en día. El crecimiento industrial vino de la mano con la revolución industrial para establecer compañías de producción masiva, estandarización y crecimiento de los estilos como la *pilz*, *porter* o *IPA* [1]. Sin duda alguna, la cerveza ha acompañado el desarrollo de la civilización hasta el día de hoy, donde se investiga constantemente para mejorar los procesos y crear cervezas mejores, más rápido y a un mejor precio.

El consumo de cerveza en nuestro país llegó a 69,8 litros *per cápita* en el año 2021 y los indicadores muestran que seguirá en aumento. El mercado total de cerveza para el año 2022 se estima que será de 1.320 millones de litros y la industria artesanal contará con 1,7% de este mercado [2]. Es decir, aproximadamente 22 millones de litros.

En este rubro se encuentra Brebajería Lo Cañas SpA, una micro cervecería que busca un espacio en esta industria tan competitiva (más de 300 empresas que elaboran cerveza artesanal [3]). Esta empresa cuenta con 3 estilos de cerveza y destaca la utilización de frutas en sus recetas. Su cerveza más vendida es *Contact*, una doble IPA con adiciones de maracuyá de 8° ABV. Le sigue *Brexit* (English IPA con mango) y *Bob* (Blonde Ale con piña). Estas cervezas se comercializan en latas y en barriles de 30 litros, ideales para bares y restaurantes. Cuentan con 22 puntos de venta en la región metropolitana y en el último tiempo se han introducido en el negocio de ofrecer servicio de enlatado para terceros.

Hoy en día, la compañía maquila sus cervezas (un proveedor externo elabora este producto) y el costo de producción se calcula que es el doble de que si tuvieran su planta propia. Dado lo anterior y sumado a que las ventas van en aumento, Benbräu (marca de fantasía de la empresa) esta considerando instalar su planta propia.

Para establecer un negocio lucrativo, los dueños creen que una venta mensual de 10.000 litros es el punto de partida. Esto equivale a \$25MM de ventas por mes aproximadamente con la planta funcionando a su máxima capacidad, lo que justifican la inversión inicial de tal planta. La idea es que la compañía logre la meta de 10.000 litros mensuales maquilando este año para poder tener un flujo de venta constante y un piso para pedir financiamiento de la nueva planta. Este documento servirá de base para construir dicho espacio productivo a principios del año 2024.

El proyecto consiste en dimensionar la planta completa. Esta tendrá 2 áreas primordiales: elaboración de cerveza y elaboración de pulpas de fruta de descarte. La empresa ya cuenta con la línea de envasado de cerveza, por lo estás se trasladarán a la nueva planta y no considerarán en el proyecto. Se establecerán los equipos necesarios para cumplir la base de diseño, se definirán sus dimensiones características, se calcularán los balances de masas, se elaborará el *lay-out* de la planta y se propondrá una estrategia de operación. Junto con lo anterior, se analizará económicamente y se propondrá la mejor estrategia para que la empresa haga realidad su meta de tener una planta propia.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo general

Desarrollar un proyecto a nivel de ingeniería conceptual con el fin de diseñar y evaluar la producción de 10.000 litros mensuales de cerveza con adiciones de fruta de descarte.

2.2. Objetivos específicos

- Definir equipos y dimensiones para cumplir base de diseño de 10.000 litros mensuales.
- Diseñar una línea de producción de pulpa de fruta.
- Elaborar balances de masa para todo el proceso productivo, por equipo y general.
- Definir un *lay-out* y estrategia de operación.
- Analizar el proyecto bajo criterios ambientales, productivos y económicos para definir si es viable.

Capítulo 3

Antecedentes

3.1. Elaboración de cerveza

La cerveza cuenta con 4 etapas principales para su elaboración; malteado, cocción, fermentación y envasado. Se enunciará cada etapa con su respectiva explicación e importancia en el proceso.

Partamos con el proceso que produce el ingrediente esencial para producir cerveza: el malteado. En esta etapa los granos de distintos cereales experimenten una germinación controlada y se transforman en maltas. Los principales cereales usados en cervecería artesanal son trigo, cebada y centeno. Para partir el ciclo, los cereales pasan por un proceso de selección para asegurar una calidad óptima. Luego se sumergen en agua, lo que aumenta la humedad hasta un 45 % para iniciar el proceso natural de brote. Cuando el período de remojo termina, se drena el grano y parte el germinado. Aquí el grano se deja crecer durante un período de tiempo en condiciones controladas. Los objetivos de la germinación son liberar las enzimas existentes y producir nuevas, descomponer las paredes celulares del endospermo para liberar su contenido (azúcares) y descomponer parte de la proteína almacenada en aminoácidos. La germinación se controla soplando aire humidificado a través del lecho de grano y girando el grano para asegurar mezclado y tener un flujo de aire constante. Luego de que el grano germine, este se lleva a secadores, los cuales reducen la humedad al 4 % aproximadamente. De esta forma, el proceso de crecimiento es detenido y las azúcares quedan disponibles para futura extracción. Dependiendo de la temperatura y flujo de aire se pueden lograr distintos perfiles de la malta (a más temperatura y flujo, más caramelización de los azúcares) [4].



Figura 3.1: Germinado industrial.

En el siguiente paso, ya ingresamos a la planta cervecera; la cocción. Esta se divide en 3 etapas: maceración, filtrado y hervor. La primera etapa consiste que en una olla de macerado (tanque insulado con agitación) se ingresa malta triturada (más superficie) y se hidrata con agua caliente ($60-68^{\circ}\text{C}$). Esto gelatiniza sus almidones, libera sus enzimas y conduce a la conversión de los almidones en azúcares fermentables. La temperatura y el pH ($5,2-5,5$) se optimizan para que todas las enzimas que descomponen los polisacáridos en monosacáridos estén en condiciones que favorezcan su labor, especialmente para la α -amilasa, β -amilasa y α -glucosidasa. El trabajo de estas enzimas es crucial, ya que las levadura solo son capaces de consumir azúcares simples. Con lo anterior mencionado, las temperaturas más cálidas producirán un mosto más dextrinoso (no fermentable) mientras que las temperaturas más bajas harán que el mosto sea más fermentable [5]. La infusión se lleva a cabo por 1 hora, ya que es el punto óptimo entre azúcares extraídos y tiempo [6].

Pasado este tiempo, comienza el filtrado de la mezcla. Este utiliza los mismos granos de malta para formar una torta de filtrado con la ayuda de un falso fondo. Se hace un recirculado para formar la torta, para luego traspasar el mosto al tanque de hervor lentamente. Al mismo tiempo que parte el filtrado, se empieza a rociar agua a 75°C (esta temperatura detiene la actividad enzimática [7]) para lavar el grano (*sparging*). Es importante recalcar que lo importante es lograr la mayor cantidad de azúcares disueltos en la mezcla, por lo que el *sparging* se hace cargo de extraer los azúcares residuales del grano para la posterior fermentación. Cuando las maltas gastadas se enjuagan lo suficiente, es decir, ya no se extrae más azúcar, se detiene la filtración y el mosto está listo para hervir.



Figura 3.2: Macerado de la malta.

Una vez finalizado el traspaso al nuevo tanque, el mosto se lleva a hervor. El hervor es esencial ya que mata las bacterias, esteriliza el mosto y denaturaliza las enzimas que previamente transformaron los almidones en azúcares simples. Esto es importante ya que si las enzimas continúan trabajando se fabricará una cerveza sin cuerpo. También en esta etapa se agregan lúpulos, flor que brinda amargor, sabor y aroma a la cerveza. Este vegetal contiene varios compuestos químicos que brindan cualidades organolépticas interesantes al producto final, pero sin duda los que más recalcan son los α -ácidos. Estos se isomerizan para formar compuestos que brindan amargor, sabor o aroma, dependiendo de cuanto tiempo en hervor se encuentren. Entre más tiempo más amargor brinda (sobre 45 minutos) y menos contacto ofrece aroma (bajo los 15 minutos). Entremedio se forman los compuestos que aportan sabor a la cerveza. Dependiendo del perfil final que se busca, se calcula el tiempo de contacto que cada lúpulo tiene que tener. En general en las cervezas artesanales se agregan en 3 ocasiones, una por cada atributo mencionado que aportan los lúpulos.

Otro aspecto importante es que en esta etapa se eliminan compuestos sulfurados precursores del DMS (químico que arruina el sabor de la cerveza). Debido a su naturaleza volátil, un hervor vigoroso es suficiente para eliminar este problema. Los precursores vienen de las maltas y algunas contienen cantidades muy superiores a otras. Por lo que si se elabora cerveza con maltas con un alto contenido sulfuroso, es recomendable alargar el tiempo de hervor. Por último, el hervor aporta sabores a la cerveza por las reacciones de Maillard. Estas pueden aportar sabores a pan tostado, caramelo, pasas entre otros. Dependiendo de la cantidad de azúcares disponibles en el mosto, sus productos tomarán importancia. Más azúcares significarán más reactivos para Maillard [8].

Considerando todo lo anterior, en la industria se trabaja con un hervor de 60 minutos para cervezas con un bajo contenido de compuestos sulfurados (cervezas ales, cervezas oscuras y cervezas ácidas) y con un hervor de 90 minutos para cervezas que contienen un alto porcentaje de precursores de DMS (cervezas lager).

Una vez finalizado el hervor, el mosto se enfría rápidamente para evitar una contaminación bacteriana. Este es traspasado al fermentador, el cual fue previamente sanitizado.

Generalmente se utilizan intercambiadores de calor en línea para agilizar todo este proceso. Es importantísimo sanitizar todo lo que entre en contacto con el mosto, ya que este, por su alto contenido de azúcares, actúa como medio de cultivo de muchos microorganismos. Cuando el fermentador esta lleno, se agrega la levadura y se sella el equipo, para comenzar la etapa de fermentación.

En esta etapa, existen 2 pasos: fermentación primaria y maduración. En la primera fase, la levadura transforma los azúcares disueltos fermentables en CO₂, etanol y varios compuestos trazas que agregan sabores y aromas a la cerveza. El control de temperatura es clave para que la levadura haga su trabajo de forma óptima. Hay decenas de levaduras distintas para fermentar cerveza y cada una tiene su temperatura óptima, pero a modo general, estas se pueden agrupar en 2 tipos: levadura Ale y levadura Lager. La primera fermenta entre 18-22°C y produce varios ésteres y fenoles que aportan sabor junto con aroma. Mientras que la segunda fermenta entre 10-15°C y produce una fermentación limpia. El tiempo de fermentación dependerá de la cantidad de azúcares disueltos y de la levadura seleccionada principalmente, pero una buena aproximación es de una semana, para la mayoría de las ales (tipo de cerveza elaborado por Benbräu). Para ir siguiendo el curso de la fermentación se toman muestras de densidades constantemente. Una vez que la densidad deja de bajar (alcohol y CO₂ menos denso que el azúcar disuelto) y llega a un punto muerto, se da por finalizada la fase de fermentación primaria y se pasa a la fase de maduración. La temperatura es disminuida generalmente a 3°C de manera gradual (3 grados por día) y la levadura reabsorbe los compuestos que excretó durante la fermentación que podrían darle cualidades organolépticas no deseables a la cerveza. En palabras simples, la levadura limpia la cerveza y los sabores se acoplan, mejorando las propiedades sensoriales del producto final. Junto con lo anterior, algunas cervezas, principalmente las más lupuladas (IPA, APA y algunas lager) pasan por un proceso de *dry-hop*. Aquí se agregan lúpulos al fermentador en frío para extraer aroma y sabor a lúpulo, sin agregar amargor. Generalmente esta etapa dura 1 semana para cervezas ale y un mínimo de 6 semanas para cervezas lager.



Figura 3.3: Batería de fermentadores en una cervecería artesanal.

Una vez que la cerveza termina su período de maduración, esta lista para gasificarse. Hay distintas formas de lograr esto. Se puede hacer una segunda fermentación en el envase final

(botella o lata) agregando una pequeña cantidad de azúcar que genere CO₂. Lo malo de este método es que la cerveza pasa por un proceso de alteración y se demora un par de días. Por este razón, en la industria se utiliza carbonatación forzada, es decir, se gasifica el producto mediante la adición de CO₂ molecular. Aquí dependerá el equipamiento que cuente la planta. Si tienen fermentadores isobáricos, se puede ingresar CO₂ directo al fermentador mediante un piedra difusora (achica la burbuja). Si no es así, existen carbonatadores en línea o se utilizan tanques de carbonatación (isobáricos que soportan altas presiones y se agrega todo el CO₂ necesario al mismo tiempo). Brebajería lo cañas SpA carbonata utilizando un tanque de carbonatación. Para poder carbonatar de buena forma es importantísimo que el líquido este lo más cercano a 0°C, para que existe una interacción líquido-gas favorable para que el gas quede en el líquido.

Luego de la carbonatación, se pasa la cerveza a barriles o se enlata (embotella) directamente del fermentador. Para poder hacer la última opción, se necesita un fermentador isobárico. En empresas de mayor tamaño, se utiliza un tanque de almacenamiento previo al envasado para poder eliminar tiempos muertos, como también eliminar cualquier tipo de borra que pueda quedar (se hacen purgas constantemente a lo largo del período de fermentación, pero siempre quedan remanentes). Otra operación unitaria que utilizan cervecería con un poder adquisitivo mayor, es la centrifugación. Aquí la cerveza elimina cualquier materia orgánica mayor a cierto tamaño (cada cervecería lo define). De esta forma el producto final queda más "limpio" (características organolépticas favorables), puede tener una mayor duración y tiene una mejor consistencia en cada *batch*.

Los equipos principales para este proceso son el *brewhouse* (macerado, filtrado y hervor), fermentadores, intercambiador de calor y equipo de frío o *chiller*. El último es crucial para tener control de temperatura en el proceso de fermentación.

Este es el proceso para hacer una cerveza de forma simplificada. Hay un montón de reacciones bioquímicas y variables que no se explicitaron por extensión que una cervecería tiene que controlar para que su producto sea estándar. En el trabajo final se tocarán todos los temas relevantes para poder hacer una cerveza de forma industrial con la mejor calidad posible, sin poner en riesgo los márgenes.

3.2. Elaboración pulpas de fruta

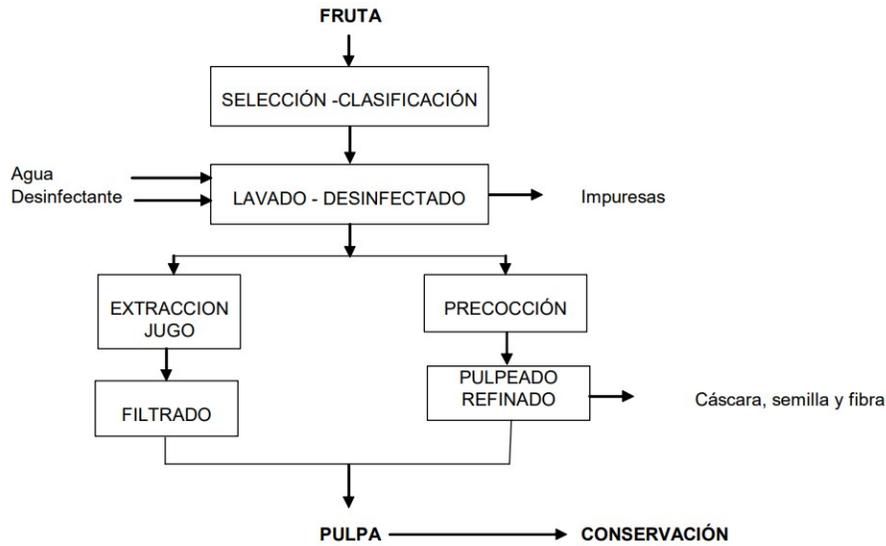


Figura 3.4: Diagrama de bloques elaboración pulpas de fruta [?]

En la figura anterior se puede observar el diagrama de bloques de una línea que elabora pulpa de frutas. La primera etapa consiste en la recepción de la fruta y la selección de esta. Aquí no importa el tamaño, más bien que venga en buenas condiciones (ausencia de ataques de insectos, color, textura, etc). También en esta etapa se hace el pesaje para poder manejar un balance de masa preciso. Una vez que pasa la inspección inicial, se hace un lavado suave para remover partículas adheridas a la fruta (ej: tierra) para luego pasar al desinfectado que baja la carga microbiológica de la fruta. Generalmente en la industria se sumerge la fruta en una solución de hipoclorito de sodio a 2ppm por 5 minutos. Luego de esta etapa, si la fruta es demasiado rígida o susceptible al pardiamiento, se hace una precocción para ablandar la fruta e inactivar enzimas causantes que la fruta se torne color marrón. Otra operación que depende de la fruta es el pelado. Si la cáscara no afecta las condiciones organolépticas del producto, se mantiene. Por el otro lado, si la cáscara aporte sabores y aromas no deseables, se remueve. Una vez que pasamos por esto, se pasa al pulpeado. Aquí se extrae el jugo, sin cáscara, semillas y fibras. Si la fruta con la que estamos trabajando es de fácil pulpeado, se pasa directamente a la extracción del jugo y se filtra para retirar cualquier remanente. Cualquiera de los 2 caminos obtienen pulpa como producto final [9].

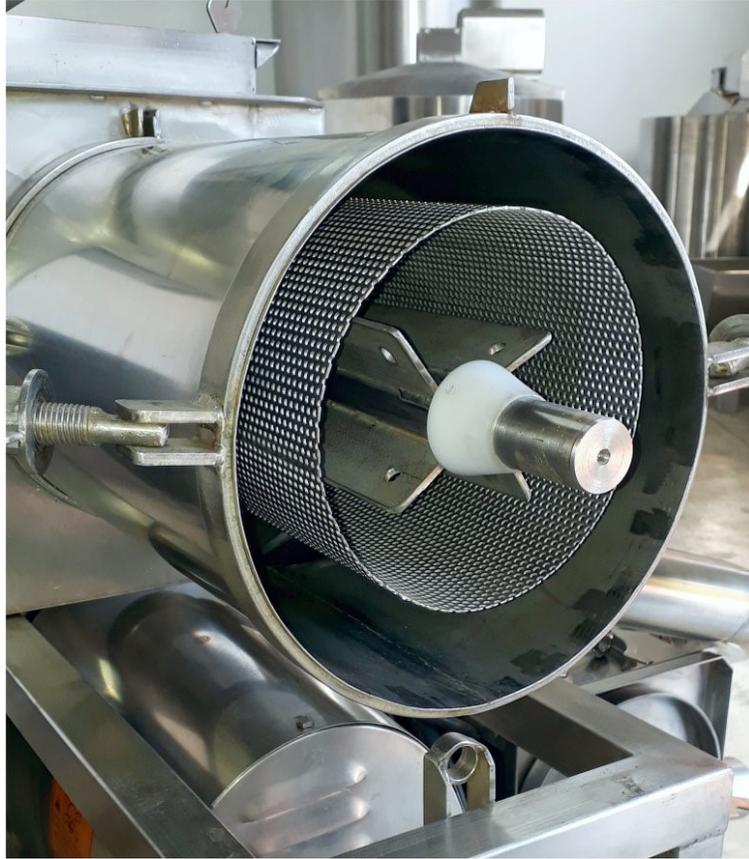


Figura 3.5: Despulpadora abierta para observar su mecanismo interior.

Luego de obtener la pulpa pura de fruta pasamos al pasteurizado. Aquí se eliminan las bacterias que podrían deteriorar nuestro producto mediante un tratamiento de calor. Lo utilizado en la industria es mantener la mezcla a 90°C por 5 minutos. Una vez terminado este proceso es importante hacer análisis organolépticos y fisicoquímicos para poder asegurar una uniformidad en el producto final. Si estos cumplen con los objetivos de la empresa, se empaca al vacío en bolsas de polietileno (estándar en la industria). Luego este empaques se dirige al túnel de frío (-8°C) que congela la pulpa. Con esto, se da por terminado el proceso de elaboración de pulpas y se almacena en cámaras de congelación [10]. Este procedimiento tiene como producto final pulpa de fruta sin ningún tipo de aditivos, ya que este es el insumo necesario para la elaboración de cerveza.

Es importante recalcar que el proceso descrito anteriormente es el proceso utilizado en una industria que su principal objetivo es vender pulpas a terceros. En cambio, la compañía auspiciadora de este proyecto requiere la pulpa para elaborar cerveza como principal fin y si es ventajoso económicamente, se analizará su posterior comercialización. También es fundamental que la fruta utilizada será fruta de descarte por lo que la selección toma bastante importancia. Considerando solo la producción de cerveza, los procesos de envasado y el túnel de frío no son necesarios, ya que la pulpa pasteurizada podría ingresarse directamente al fermentador.

Considerando lo anterior, los equipos principales para la elaboración de la pulpa son la despulpadora y el pasteurizador, ya que los otros procesos podrían elaborarse manualmente

ya que la producción necesaria es acotada (se detallará en el siguiente punto).

3.3. Proceso elaboración cervezas Benbräu

Expuesto anteriormente se comunicó que la empresa produce 3 estilos de cervezas pero estos mantienen el mismo proceso de elaboración. Se diferencian principalmente en las maltas utilizadas, los lúpulos y las frutas, es decir, en los insumos.

En un día de producción, se maceran las maltas a 66°C por una hora para después filtrar y hervir por una hora. Los lúpulos utilizados (existen decenas de variedades) varían con cada receta y los tiempos de hervor de cada lúpulo también. Una vez terminada esta etapa, se traspasa al fermentador y se agregan levadura, nuevamente dependiendo del estilo que se este cocinando. Se mide la densidad inicial y se empieza la etapa de fermentación. Generalmente ingresan 1.000 litros aproximadamente al fermentador. Cuando la densidad esta a un cuarto de la densidad final predicha (2-3 días posteriores de comenzar la fermentación) se agrega la fruta (75kg para el mango y la piña y 25kg para la maracuyá). Se agrega en este momento para que la levadura tenga tiempo de procesar las azúcares residuales de la fruta y no ocurra alguna fermentación no deseada en etapas posteriores. Luego de una semana se llega a la densidad final y se madura la cerveza por 1 semana. Cuando la temperatura llega a 3°C se agregan los lúpulos en *dry-hop* (nuevamente varía la cantidad y la variedad dependiendo del estilo) y se dejan en contacto por 1 semana. Constantemente se va analizando organolépticamente la cerveza y cuando llega al nivel deseado se procede a traspasar a un tanque carbonatador para introducir la cerveza carbonatada a barriles de 30 litros. Se embarrilan cerca de 900 litros en cada *batch*, teniendo una merma del 10%. Esta se explica en la producción de biomasa y restos vegetales del lúpulo y la fruta. Una vez embarrilada esta se comercializa o se enlata.

En la planta propia se espera poder mantener los lotes de 1.000 litros para poder tener flexibilidad a la hora de hacer cerveza y poder hacer distintos estilos el mismo mes. Sumado a lo anterior, los encargados del proyecto por parte de la empresa consideran que la planta debería contar con fermentadores isobáricos para poder carbonatar en el mismo fermentador para optimizar el uso del tiempo, disminuir las mermas y reducir el oxígeno disuelto en la cerveza (cada cambio de tanque extra puede aportar oxígeno disuelto), ya que este reduce considerablemente la duración del producto terminado.

Por otro lado, si consideramos el máximo de pulpa utilizada para una planta de 10.000 litros mensuales, serían 75 kilogramos para 1.000 litros. Esto nos da un total de 750 kilogramos por mes. Esto se traduce en que se necesita una línea de procesamiento de fruta de descarte pequeña para poder satisfacer la demanda de la planta.

Capítulo 4

Metodología

Para poder lograr el trabajo estipulado en este informe en el tiempo requerido, se elabora una metodología de trabajo con la duración de cada tarea. A continuación se enuncian todas las tareas necesarias para poder elaborar el trabajo de memoria:

- Caracterización de la fruta en la cerveza: Analizar aporte organoléptico de este insumo. Tiempo tarea: 2 semanas.
- Definición de bases del proyecto: bases generales, bases específicas, límites de batería, alcances y exclusiones. Tiempo tarea: 1 semana.
- Selección de equipos: Con ayuda bibliográfica como también con visitas guiadas de las mejores cervecerías artesanales en Chile, se propondrán todos los equipos necesarios para poder elaborar el proyecto. Tiempo tarea: 2 semanas.
- Dimensionamiento equipos: Se definirán las dimensiones de los equipos que se seleccionaron en la etapa anterior. Tiempo tarea: 2 semanas.
- Elaboración balances de masa: Se calcularán las entradas y salidas de cada equipo y también se realizará un balance general. Tiempo tarea: 2 semanas.
- Definición *lay-out* y estrategia de operación: Se propondrá la disposición de los equipos dadas las bases de espacio del proyecto. Será fundamental priorizar una operación cómoda y optimizar tiempos. Tiempo tarea: 1 semanas.
- Estudio de factibilidad: Determinación de KPI para evaluar el proyecto en general. Se analizará el impacto ambiental y la factibilidad del proceso productivo. Junto con lo anterior, se realizarán planillas CAPEX y OPEX, junto con un flujo de caja para analizar el lado económico. Tiempo tarea: 5 semanas.
- Discusiones: Con todo lo anterior, realizar un análisis multicriterio para definir si es viable realizar este proyecto, como también proponer mejoras. Tiempo tarea: 2 semanas.

Capítulo 5

Caracterización de la fruta

Para poder tener una idea clara del aporte de la fruta a la cerveza, es importante caracterizarla. En términos organolépticos, el aroma y el sabor son temas complejos ya que compuestos que por si solos no son detectables, pueden tener una relación sinérgica y tener un impacto en el receptor. Por esta razón, cuando se habla de ciertos aromas o sabores frutales en la cerveza, se clasifican en los grupos más importantes: alcoholes superiores (alcoholes con más de 3 carbonos), ésteres, tioles, lactonas y furanonas (ésteres cíclicos) y terpenoides [11].

Lo más importante para este estudio son los compuestos de sabor y aroma (complejos orgánicos) y potencial de oxidación (vida útil de la cerveza). Estos elementos serán estudiados en las tres frutas que se utilizan hoy en día en la cervecería (piña, mango y maracuyá).

5.1. Piña

La piña es una fruta con un alto contenido de azúcares, con valores muy similares a la maracuyá, esto le permite ser una buena candidata para realizar fermentaciones. Existe evidencia de la buena conversión de azúcares en alcohol para la elaboración de cervezas con adición de piña, lo cual se fundamenta debido a la baja presencia de azúcares reductores (por ejemplo, maltosa) en el producto final [12]. Según estudios realizados cromatográficos en la cerveza con adiciones de piña, hay presencia de alcoholes típicos como el etanol y 3-metilbutanol, lo cual es un buen indicador de una fermentación alcohólica característica de las cervezas, lo que implica que no influye en la calidad de la fermentación. Este último alcohol se caracteriza por otorgar aromas frutales al producto final [13].

Continuando, la piña posee catequina, un antioxidante polifenólico correspondiente a un metabolito secundario que aparece en diversas plantas. También posee otros flavonoides (polifenoles) tales como epicatequina y sus derivados, así como también posee β -carotenos. La presencia de polifenoles permitiría aumentar la capacidad antioxidante de la cerveza, significando una mayor vida media del producto [14]. Sumado a lo anterior, las cervezas con adiciones de piña tienen valores de pH cercanos a 4, lo cual es útil para evitar la contaminación de otros microorganismos sin afectar a la levadura [12].

Es importante destacar que la adición de piña crea turbidez en la cerveza, algo que podría ser cuestionado por los más puristas, pero las nuevas tendencias en cervecería parece no

importarles este detalle, incluso lo buscan.

Finalmente, la piña contiene una alta presencia de ésteres, los cuales contribuyen a aromas frutales, dulces y florales. Principalmente, el aroma de piña se caracteriza por ésteres, significando que una cerveza que contiene esta fruta tendrá un marcado aroma a piña. El octanoato de metilo resulta ser el más importante de estos, dado que otorga el aroma dulce, frutal y fresco característico de este fruto tropical [13]. Esto permite utilizar una levadura más barata (levadura con alta creación de ésteres: \$240.000 por kg vs levadura común: \$120.000 por kg) [15], lo que beneficia en términos económicos la utilización de este fruto.

5.2. Mango

Esta fruta tropical es caracterizada por su contenido alto en compuestos volátiles, los cuales influyen de sobremanera en el aroma de la cerveza terminada. Los principales aportes del mango a la cerveza es en ésteres, alcoholes y terpenoides. Estos aportan sabores dulces, cítricos, pinosos y maderosos. En cuanto a azúcares fermentables, el mango no tiene un aporte real a la hora de medir alcohol, ya que sus sacáridos son demasiado complejos para que las levaduras los transformen en alcohol. Finalmente, el mango aporta una gran cantidad de polifenoles a la cerveza, lo que incrementa la capacidad antioxidante de esta (hasta un 44 %) y podría significar una mayor duración del producto terminado. Sumado a todo lo anterior, la fruta en análisis disminuye el PH, lo que hace más difícil el desarrollo microbiano en la cerveza y por ende, dificultando el deterioro del producto [16].

Es importante destacar que la adición de mango crea turbidez en la cerveza, algo que podría ser cuestionado por los más puristas, pero las nuevas tendencias en cervecería parece no importarles este detalle, incluso lo buscan.

En términos económicos, el mango al aportar una gran cantidad de ésteres a la cerveza permite utilizar una levadura más barata (levadura con alta creación de ésteres: \$240.000 por kg vs levadura común: \$120.000 por kg) [15]. También se pueden utilizar lúpulos con menos cantidad de terpenos y compuestos volátiles, especialmente en el *dry-hop*, ahorrando hasta un 30 % en lúpulo [15]. Estos números son de referencia y para ver el verdadero impacto se tiene que análisis de laboratorio con el producto terminado.

5.3. Maracuyá

El zumo de maracuyá es ácido y bastante aromático. Según estudios realizados, este posee un contenido de azúcares suficiente para poder ser utilizado en los procesos de fermentación, donde la levadura utilizará los azúcares para acelerar el proceso fermentativo. La adición de la pulpa de maracuyá disminuye el pH de la cerveza debido a la naturaleza ácida de esta, llevándola a un rango de 3.65 en algunos casos, lo cual depende del momento en que se añada la pulpa de maracuyá. El momento en que se añada, afectará la forma en que la levadura produzca ácidos orgánicos volátiles y no volátiles, los cuales afectarán en la acidez. No obstante, esta disminución no afecta la viabilidad ni el crecimiento de las levaduras debido a la posibilidad de estas de crecer en ambientes más ácidos y como se menciona anteriormente, dificulta el crecimiento de otros microorganismos que podrían afectar al producto final, au-

mento la vida útil del producto [17].

Por otro lado, la maracuyá posee una alta cantidad de polifenoles, los cuales se mantienen al añadirse a la cerveza. Estos le otorgan una alta capacidad antioxidante a la cerveza, lo cual, como se menciona anteriormente, le permite tener una mayor duración [18].

Finalmente, entre los compuestos más importantes se encuentra el tiol 3-sulfanylhexas-1-ol y el terpenoide β -Linalool. Estos, junto a varios compuestos más (60 fueron encontrados) hacen de esta fruta una poderosa adición para entregar aroma y sabor a la cerveza [19]. Esto último es de suma importancia, ya que los lúpulos que entregan sabores cítricos y con aromas a maracuyá son los más caros en el mercado. Poder reducir la cantidad de lúpulos en la receta añadiendo maracuyá podría incluso traer réditos económicos.

Capítulo 6

Bases del proyecto

6.1. Bases de diseño

Se definieron las bases de diseño del proyecto con el objetivo de delimitar las necesidades básicas de este y estándares mínimos esperados que se deben cumplir. Dentro de esto se considera:

6.1.1. Bases generales

1. Se elaborará cerveza con adición de pulpa de fruta en la etapa secundaria de fermentación. Adicionalmente, se analizará la inclusión de una línea de producción de pulpa de fruta para luego utilizarla en la producción cervecera.

6.1.2. Bases específicas

1. Proyecto escalable con producción inicial de 10.000 litros mensuales.
 - Producción de 2.000 litros de 3 variedades como cervezas de línea (Siempre disponibles) como mínimo. Los etilos son: Blonde Ale con Piña, English IPA con Mango y Doble IPA con Maracuyá.
 - Tener espacio de mil litros al mes para elaborar cervezas experimentales y colaborativas (en conjunto con otras cervecerías) como mínimo.
 - Al describir el proyecto como escalable, se espera que al cabo de 2 años de operación los volúmenes de producción aumenten.
 - Se producen *batch* de 1000 litros. Producción menor a este número no es viable.
 - Para aumentar producción, que sea necesario solo el incremento de la capacidad fermentativa (número de fermentadores).
2. Todos los insumos para la elaboración de la cerveza están disponibles en el país.
3. No considerar reutilización de ningún insumo.

6.2. Límites de batería

1. La producción empieza en la etapa de maceración de la malta y finaliza previo al envasado del producto.

2. Las entradas del proceso corresponden a agua, maltas, lúpulos, levadura seca y fruta.
3. Las salidas del proceso corresponden a borra (mezcla de levadura, fruta y lúpulo gastados) que irán directamente a los RILes, dióxido de carbono y cerveza terminada.

A continuación se presenta la Figura 6.1 que resume de forma gráfica los límites de batería del proceso.

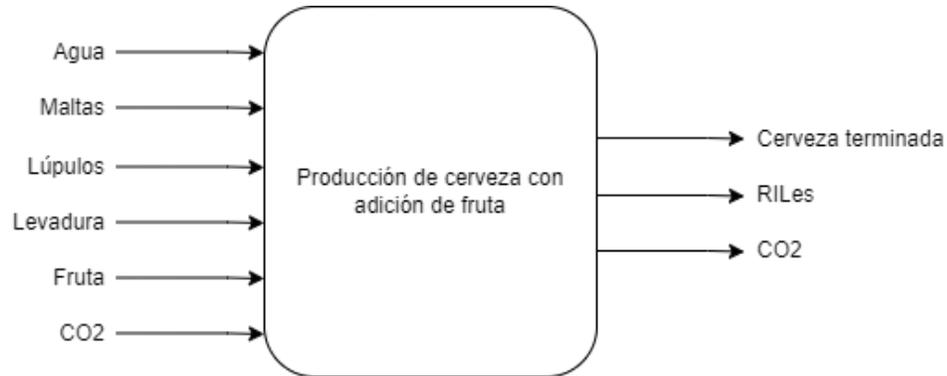


Figura 6.1: Límites de batería del proceso. *Elaboración Propia.*

6.3. Diagrama de bloques agrupado del proceso

Cada etapa del proceso se encuentra representada por una caja, donde se especifica la tarea a realizar dentro de ella o macroproceso. Los flujos de entrada y salida de cada bloque se encuentran representados por flechas, donde su color, negro, rojo o celeste, representan su estado, líquido, sólido o gaseoso, respectivamente. Los corrientes intermedias se encuentran identificadas sobre la línea que une cada etapa.

En el proceso se pueden distinguir 2 líneas principales: la de producción de cerveza y la de elaboración de pulpa. La primera cuenta con las etapas de maceración y cocción, fermentación y maduración y sigue un esquema lineal, dado los requerimientos de la empresa de que ningún insumo se reutilice en el proceso base. Por otro lado, la producción de pulpa pasteurizada es utilizada en la etapa de fermentación y transforma fruta de descarte en pulpa pasteurizada.

A continuación en la Figura 6.2 se presenta el diagrama de bloques asociado a la producción de cerveza con fruta de descarte como insumo.

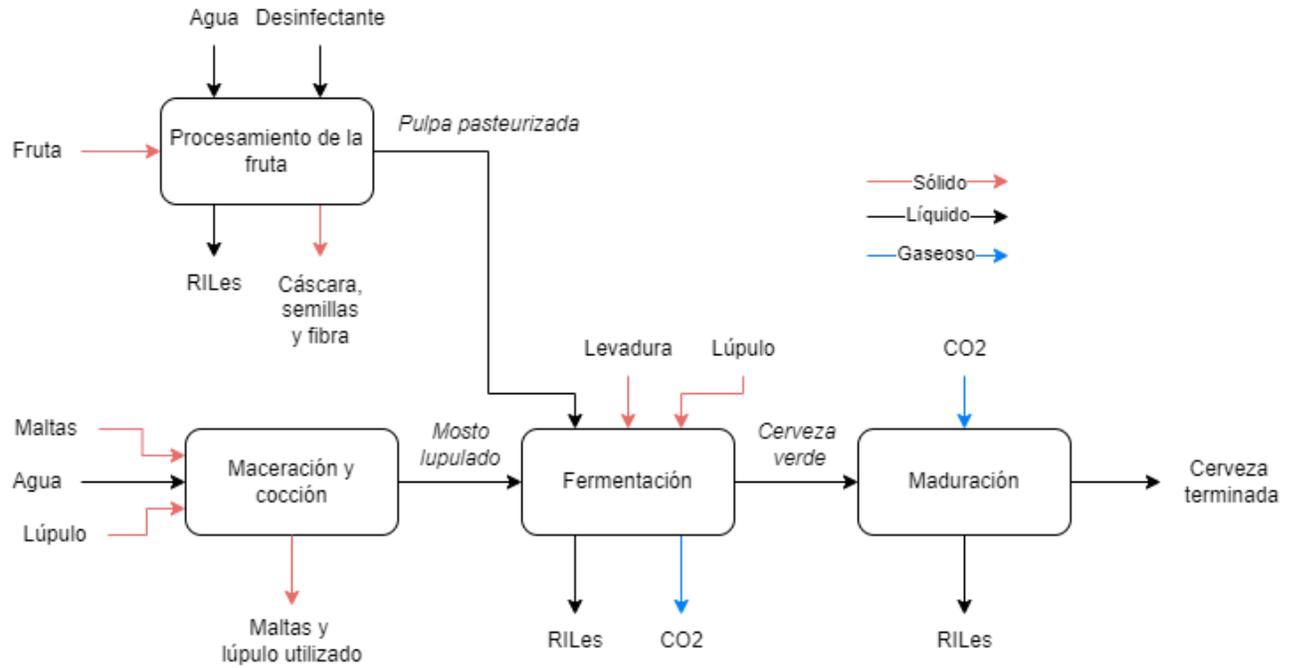


Figura 6.2: Diagrama de bloques agrupado para la producción de cerveza con adición de fruta. *Elaboración Propia.*

6.4. Alcances

Dentro de los alcances del proyecto, se listan las etapas necesarias para ejecutar satisfactoriamente este proceso y cumplir los objetivos planteados, así como también aquellas que no serán consideradas dentro del mismo.

6.4.1. Inclusiones

- Visitas industriales a distintas plantas cerveceras.
- Propuesta de equipos y sus respectivos dimensionamientos.
- Análisis y diseño de todas las etapas de producción.
- Balances de masas para cada etapa y para el proceso global.
- Propuesta de alternativas para mejorar el caso base.
- Análisis multicriterio para el proyecto. Incluye criterios ambientales, productivos y económicos.

6.4.2. Exclusiones

- No se contempla el diseño del proyecto eléctrico.
- No se consideran las etapas de transporte, envasado y comercialización del producto.
- No se harán análisis organolépticos, solo se replicará el producto que tiene la empresa.

Capítulo 7

Selección y dimensionamiento de equipos

7.1. Equipos principales

Luego de visitar varias plantas dentro de Chile y en Argentina, se proponen los equipos principales para el desarrollo del proyecto base. Estos se seleccionan por etapas, expuestas anteriormente.

1. Maceración y cocción:

- Molino: para moler las maltas y asegurar una superficie de contacto que favorezcan la transferencia de azúcares desde el grano al agua.
- Macerador: estanque con chaqueta térmica en donde se ingresan maltas y agua caliente (65°C). Cuenta también con un falso fondo y bomba de recirculación.
- Hervidor: estanque con chaqueta térmica que hierve el mosto recuperado del macerador. Tiene que tener una salida de vapor.
- Intercambiador de calor: responsable de enfriar el mosto hervido a 18°C rápidamente, temperatura la cual comienza la fermentación.

2. Fermentación y maduración:

- Hidratador de levadura: equipo pequeño con forma cilíndrica necesario para agregar levadura en polvo a los fermentadores. Ingresar agua tibia (20°C) y levadura en polvo, se deja por 30 minutos para luego conectar en línea y hacer pasar el mosto lupulado por este equipo, el cual se lleva la levadura hidratada.
- Fermentadores isobáricos: equipos donde se lleva a cabo la fermentación, maduración y gasificación del producto.

3. Procesamiento de fruta:

- Bines de limpieza: tanques plásticos para llevar a cabo la selección y limpieza de la fruta.
- Despulpadora: convierte la fruta en pulpa, dejando atrás cáscara, semillas y fibras no deseadas.

- Pasterizador: elimina cualquier bacteria no deseada del producto final.

Aparte de esto equipos por etapas, son necesarios los siguientes equipos para la planta:

- Equipo de osmosis reversa: si el lugar donde se instala la planta cuenta con agua dura (elevado contenido de sales), es necesario purificar el agua con este equipo.
- *Hot liquor tank*: estanque con chaqueta térmica que almacena agua caliente a $75^{\circ}C$. Proporciona el agua para el macerado, lavado de la malta utilizada, ciclos de limpieza de fermentadores, lavado de barriles, como también cualquier otra operación que necesite agua caliente.
- *Cold liquor tank*: estanque con chaqueta térmica que almacena agua fría a $1^{\circ}C$. Proporciona la corriente fría en el intercambiador de calor para el enfriado del mosto (el agua caliente resultante de este proceso pasa al *Hot liquor tank*), como también ciclos de limpieza de fermentadores y cualquier otra operación que necesite agua fría.
- Estanque de glicol: estanque que almacena agua con glicol para controlar la temperatura de los estanques de fermentación y del *Cold liquor tank*. Conectada en un circuito cerrado para reutilizar la mezcla de agua y glicol.
- Chiller: equipo necesario para enfriar la mezcla del estanque de glicol.
- Caldera: entrega calor al *hot liquor tank*, macerador y hervidor.

7.2. Dimensionamiento

Tras reuniones con la empresa mandante del proyecto, se decide tener un *brewhouse* (conjunto de equipos para macerar y cocer la cerveza) de 1.000 litros efectivos o similar, ya que de esta forma se puede obtener la variedad que la cervecería necesita.

A continuación se explicará el dimensionamiento de cada equipo descrito anteriormente.

1. **Molino**: Este equipo procesará 250 *kg* de malta por batch en promedio, dados los datos de la empresa. Se estableció un tiempo de 30 minutos como adecuado para poder procesar toda la malta (tiempo molienda).

$$C_{min} = m_g/t_m$$

$$C_{min} = 250[kg]/0.5[h] = 500[kg/h]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s = 500[kg/h] \cdot 2 = 1000[kg/h]$$

De esta forma, la capacidad mínima de este equipo es de 500 *kg/h*. Dado el potencial de expansión que tiene definido la empresa, se decide por un factor de 2, lo que da una capacidad real del equipo de 1.000 *kg/h*.

2. **Macerado**: En este equipo ingresarán los 250 *kg* de malta molida. Junto con los granos, ingresará agua, para tener un densidad de macerado de 3 *L/kg* (litros de agua por

kilogramo de malta). Este valor lo definió la empresa ya que es el que se utiliza para elaborar sus cervezas.

$$A = m_g \cdot d_m$$

$$A = 250[kg] \cdot 3[L/kg] = 750[L]$$

Esto indica que ingresarán 750 L de agua. Junto con lo anterior, se calcula el volumen que ocupará el grano, con la densidad promedio del grano. Este valor fue nuevamente entregado por la empresa.

$$V_g = m_g/d_g$$

$$V_g = 250[kg]/0,67[kg/L] = 168[L]$$

Con estos dos valores, se puede calcular la capacidad del macerador.

$$C_{min} = A + V_g$$

$$C_{min} = 750[L] + 168[L] = 918[L]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s = 918[L] \cdot 1,4 = 1285[L] \approx 1300[L]$$

De esta forma la capacidad mínima del macerador es de 918 L. Se considera un factor de seguridad de 1,4 ya que la empresa tiene en consideración recetas que necesitan más grano. Un factor de seguridad común para este tipo de equipo es de 1,25 [20]. De esta forma la capacidad de este equipo es de 1300 L. Es importante recalcar que luego de la maceración inicial existe un lavado de los granos, es decir, se adiciona más agua a medida que se va filtrando el mosto. Esto se verá en detalle en el balance de masa de este equipo.

3. **Hervidor:** En este equipo ingresa el mosto y lúpulos. En los cálculos de dimensionamiento no se considera este último insumo ya que sus cantidad son insignificantes (6kg en la cerveza más lupulada). Aquí se necesita tener una producción final de 1000 L de mosto hervido para que ingresen al fermentador. Para calcular la capacidad mínima se considera una evaporación del mosto del 7% en un hervido de 60 minutos. Este dato es entregado por el mandante.

$$C_{min} = V_f/(1 - e)$$

$$C_{min} = 1000[L]/(1 - 0,07) = 1075[L]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s = 1075[L] \cdot 1,2 = 1290[L] \approx 1300[L]$$

Con esto tenemos una capacidad mínima de 1075 L. Para este equipo se considera un factor de seguridad de 1,2 ya que es el estándar en la industria [21]. Esto entrega un capacidad real de 1300 L. De esta forma, nuestro hervidor es del mismo tamaño que el macerador, lo que es normal en la industria.

4. **Intercambiador de calor:** Se decide por un equipo de placas de acero inoxidable y

en disposición contracorriente, ya que es el estándar en la industria que el alumno visitó.

Para poder evaluar cuantas placas se necesita en este intercambiador se parte por calcular el calor total a disipar. El mosto ingresa al intercambiador a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y sale a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ por petición de la empresa.

$$\dot{q}_{wort} = \dot{m}_{wort} \cdot c_{p_{wort}} \cdot (T_{in_{wort}} - T_{out_{wort}})$$

Para calcular el flujo másico del mosto (*wort*) se utiliza la capacidad nominal de la bomba de 2000 L/h , magnitud entregada por la empresa para vaciar el hervidor en 30 minutos aproximadamente y una densidad de $1,06\text{ kg/L}$ [22].

$$\begin{aligned}\dot{m}_{wort} &= \dot{Q}_{wort} \cdot d_{wort} \\ \dot{m}_{wort} &= 2000[\text{L/h}] \cdot 1,06[\text{kg/L}] \\ \dot{m}_{wort} &= 2120[\text{kg/h}]\end{aligned}$$

Con esto reemplazamos en la ecuación del calor del *wort*. También se considera una capacidad calorífica de $3,73\text{ kJ/kgK}$ y queda lo siguiente:

$$\begin{aligned}\dot{q}_{wort} &= 2120[\text{kg/h}] \cdot 3,73[\text{kJ/kgK}] \cdot (90[{}^{\circ}\text{C}] - 20[{}^{\circ}\text{C}]) \\ \dot{q}_{wort} &= 553.532[\text{kJ/h}]\end{aligned}$$

Análogamente se utiliza la misma ecuación pero para el lado frío, que llevará agua de osmosis fría. De esta forma se calcula la temperatura de salida del lado frío. Se asume una transferencia total de calor, es decir, todo el calor disipado del lado del *wort* es transferido al agua fría.

$$\begin{aligned}-\dot{q}_{wort} &= \dot{q}_{fria} \\ -\dot{q}_{wort} &= \dot{m}_{frio} \cdot c_{p_{fria}} \cdot (T_{in_{fria}} - T_{out_{fria}}) \\ \dot{m}_{fria} &= \dot{q}_{fria} \cdot d_{fria}\end{aligned}$$

Reordenando:

$$\begin{aligned}T_{out_{fria}} &= \frac{\dot{q}_{wort}}{\dot{m}_{fria} \cdot c_{p_{fria}}} + T_{in_{fria}} \\ T_{out_{fria}} &= \frac{553.532[\text{kJ/h}]}{3000[\text{L/h}] \cdot 1[\text{kg/L}] \cdot 4,22[\text{kJ/kgK}]} + 268,15[\text{K}] \\ T_{out_{fria}} &= 317,9[\text{K}] = 44,7[{}^{\circ}\text{C}]\end{aligned}$$

Se utiliza un flujo volumétrico de 1,5 veces el flujo volumétrico del *wort* para el agua fría por indicación de la empresa. También se utiliza una temperatura de entrada de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dado que de esta forma se incrementa la transferencia de calor sin llegar a congelar

el *wort* (recomendación de maestros cerveceros de las cervecerías visitadas). Junto con lo anterior, tanto la densidad como la capacidad calorífica del agua fría son sacadas de bibliografía [23].

Con lo anterior, se utiliza la ecuación de diseño para un intercambiador de calor mostrada a continuación:

$$A_T = \frac{\dot{q}}{U \cdot \Delta T_{ML}}$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

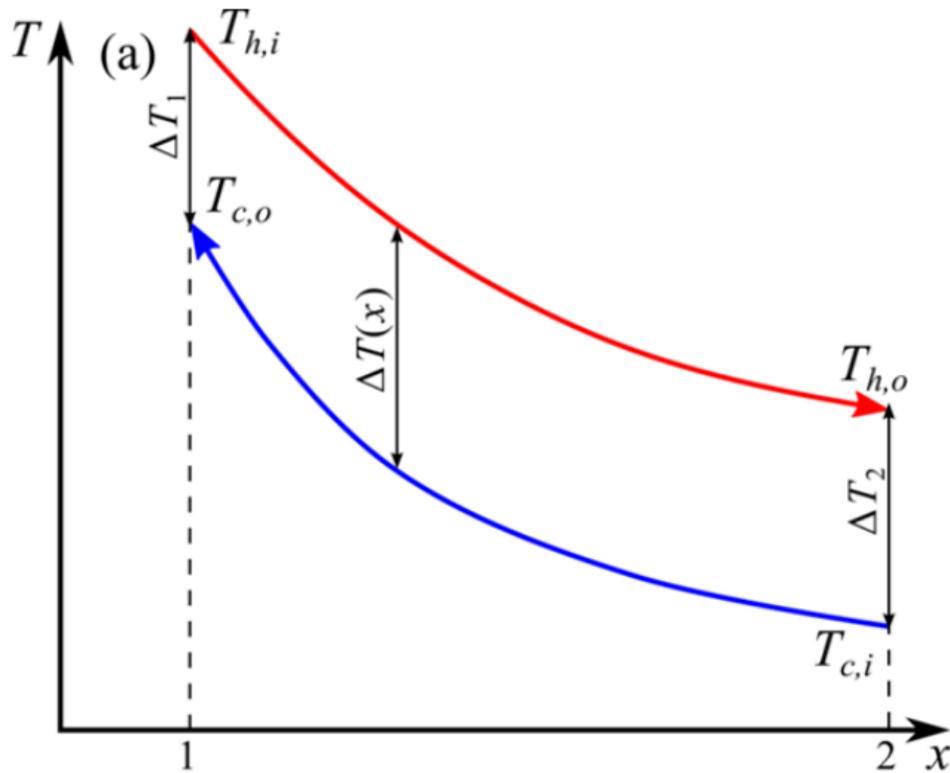


Figura 7.1: Diagrama temperaturas intercambiador de calor contracorriente [24].

Explicando brevemente la figura anterior, ΔT_1 es la diferencia entre la temperatura de entrada del líquido caliente y la temperatura de salida del líquido frío. En cambio, ΔT_2 es la diferencia entre la temperatura de salida del líquido caliente y la entrada del líquido frío.

Continuado con la ecuación de diseño, conocemos todos los parámetros excepto el coeficiente de transferencia global de calor. Este es entregado por la empresa y es igual a $2164 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Con la información anterior se cálculo el área necesaria para el intercambiador de calor.

$$\begin{aligned}\dot{q} &= \dot{q}_{wort} = 553.532[kJ/hr] = 153.759[W] \\ \Delta T_1 &= 363,15[K] - 317,87[K] = 45,3[K] \\ \Delta T_2 &= 293,15[K] - 274,15[K] = 19,0[K] \\ \Delta T_{ML} &= \frac{45,3[K] - 19,0[K]}{\ln \frac{45,3[K]}{19,0[K]}} = 30,3[K] \\ A_T &= \frac{153.759[W]}{2164[W/m^2K] \cdot 30,3[K]} = 2,35m^2\end{aligned}$$

De esta forma se necesita un área de intercambio total de $2,35 m^2$ como mínimo. No se calcula el número de placas ya que dependiendo el tamaño de éstas depende del fabricante.

$$\begin{aligned}C_{real} &= C_{min} \cdot F_s \\ C_{real} &= 2,35[m^2] \cdot 1,1 \approx 2,6[m^2]\end{aligned}$$

Este equipo contará con un factor de seguridad del 10 % por recomendación del maestro cervecero. Con esto, se tiene que el equipo necesita $2,6 m^2$ de área de intercambio.

5. **Hidratador de levadura:** en este equipo pasará el *wort* proveniente del intercambiador de calor y este arrastrará la levadura, previamente hidratada. La dosis de levadura que utiliza la empresa va de $0,7 g/L$ a $1 g/L$ y se necesitan 10 mililitros de agua por gramo de levadura para rehidratarla [25]. También se asume una densidad de $1 g/mL$ para la levadura seca por recomendación del maestro cervecero de la empresa. Para dimensionar este equipo se utiliza la dosis más grande ya que es la máxima capacidad. Para un *batch* de $2000 L$ (volumen del fermentador más grande por pedido de la compañía) los cálculos son los siguientes:

$$\begin{aligned}m_l &= V_b \cdot D_l \\ m_l &= 2000[L] \cdot 1[g/L] = 2000[g] \\ V_l &= 2000[g] \cdot 1[g/mL] = 2000[mL] = 2[L] \\ V_{H_2O} &= m_l \cdot D_{H_2O} \\ V_{H_2O} &= 2000[g] \cdot 10[ml/g] = 20000[ml] = 20[L] \\ C_{min} &= V_l + V_{H_2O} \\ C_{min} &= 2[L] + 20[L] = 22[L] \\ C_{real} &= C_{min} \cdot F_s \\ C_{real} &= 22[L] \cdot 1,3 = 28,6[L] \approx 30[L]\end{aligned}$$

Con esto tenemos una capacidad mínima de $22 L$. Para este equipo se considera un factor

de seguridad de 1,3 que fue indicado por el contratante. Esto entrega una capacidad real de 30 L.

- Fermentadores isobáricos:** a estos equipos entrará el *wort* luego de pasar por el hidratador de levadura, a $20^{\circ}C$ aproximadamente. La base de diseño de la planta pide que se produzcan 10.000 L mensuales de cerveza como mínimo. Dando una rotación de fermentadores (cuantas veces se llena y se vacía el equipo en un lapso de tiempo) de 1 vez al mes, se necesita una capacidad fermentativa de 10.000 L. Por base de diseño, se necesitan 3 fermentadores de 2.000 L y se propone añadir un cuarto para incorporar una nueva variedad de línea. Junto con esto, se seleccionan 2 fermentadores de 1.000 L para elaborar cervezas experimentales y colaborativas.

Es importante recalcar que estos son volúmenes de líquido y que estos equipos utilizan un factor de seguridad del 25 % [26]. Es decir la capacidad real de los fermentadores de 2000 L sería la siguiente:

$$C_{real_{f1}} = V_{tot_{f1}} \cdot F_s$$
$$C_{real_{f1}} = 2000[L] \cdot 1,25 = 2500[L]$$

Análogamente para los fermentadores de 1000 L:

$$C_{real_{f2}} = V_{tot_{f2}} \cdot F_s$$
$$C_{real_{f2}} = 1000[L] \cdot 1,25 = 1250[L]$$

Con estos resultados tenemos 4 fermentadores con capacidad de 2500 L y 2 fermentadores con capacidad de 1250 L.

- Bines de limpieza fruta:** En estos recipientes se recibirá la fruta de descarte, la cuál tiene que ser sanitizada para luego entrar a la despulpadora. Se harán 2 limpiezas: una en agua para remover tierra y partículas adheridas a la fruta para pasar a un sanitizado en hipoclorito de sodio a 2 ppm por 5 minutos.

Se calculará para el *batch* más gran de producir, es decir, 2.000 litros de cerveza. Si se utilizan 75 kg de pulpa por cada 1.000 litros para el mago y la piña, pero solo 25 kg por cada 1.000 litros de maracuyá. Si utilizamos el límite superior de pulpa que se necesitará, es primordial producir al menos 150 kg en medio día (lapso de tiempo que la empresa encuentra adecuado). Importante recalcar que estamos hablando de pulpa y no de fruta, por lo que se necesitarán más kilogramos de fruta para producir esa cantidad de pulpa.

Dependiendo de la fruta, se obtienen distintos rendimientos de pulpa. Se evaluarán las 3 frutas utilizadas en la planta cervecera: mango, piña y maracuyá. Luego de un análisis bibliográfico se pudieron obtener los rendimientos de estos frutos es decir, que porcentaje de la fruta se puede obtener como pulpa. Para el mango es del 75 % [27], la piña presenta un rendimiento del 50 % [28] y la maracuyá un 49 % [29]. Dado que la pulpa de maracuyá que se necesita para producir un *batch* es un tercio de lo que se necesita para

las otras frutas, esta no es utilizada para el dimensionamiento. Se utilizará la piña para dimensionar este equipo ya que tiene un rendimiento es menor, es decir, se necesita más espacio para procesar la misma cantidad de pulpa final.

$$m_f = \frac{m_p}{Y_{piña}}$$

$$m_f = 150[kg]/0,5 = 300[kg]$$

Se necesitan 300 kg de fruta para obtener 150 kg de pulpa en el caso más alto. Es decir, se necesitan bins para limpiar 300 kg. Para la limpieza se utiliza una relación de 3 litros de agua por cada kilogramo de fruta por recomendación de la empresa.

$$V_{H_2O} = m_f \cdot \phi_{H_2O}$$

$$V_{H_2O} = 300[kg] \cdot 3[L/kg] = 900[L]$$

Si asumimos que la densidad de la fruta es idéntica a la del agua (1 kg/L):

$$V_f = \frac{m_f}{d_f}$$

$$V_f = \frac{300[kg]}{1[kg/L]} = 300[L]$$

$$C_{min} = V_{H_2O} + V_f$$

$$C_{min} = 900[L] + 300[L] = 1200[L]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s$$

$$C_{real} = 1200[L] \cdot 1,25 = 1500[L]$$

Con esto, podemos decir que la capacidad necesaria de los bins es de 1500 L. Se utilizó un factor de seguridad del 25% por instrucción del mandante. Como son 2 etapas de limpieza, se necesitarán 2 bins con capacidad de 1500 litros.

8. **Despulpadora de fruta:** Este equipo separa la pulpa de la cáscara, semillas y otros elementos que son considerados desperdicios. Como se comentó anteriormente, se deben procesar 300 kg de fruta como máximo en un tiempo de medio día. Es decir, 4 horas laborales se tienen que procesar el total de la fruta.

$$C_{min} = \frac{m_f}{t_{des}}$$

$$C_{min} = \frac{300[kg]}{4[h]} = 75[kg/h]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s$$

$$C_{real} = 75[kg/h] \cdot 1,3 \approx 100[kg/h]$$

Se considera un factor de seguridad del 30 % para este equipo por recomendación de la empresa. Esto nos da un capacidad real de 100 kg/h para este equipo.

9. **Pasteurizador:** Este equipo elimina microbios que pueden venir en la fruta y asegura que no contamine la cerveza. Entra la pulpa que se produce en el equipo anterior y sale pulpa pasteurizada. Como es una producción pequeña, se decide por un pasteurizador de plato. Como se menciono anteriormente, se necesita procesar 150 kg de pulpa como máximo en un tiempo de 2 horas. Esto lo decide la compañía, ya que las operaciones anteriores se calcula que demorarán 2 a 3 horas, por lo que esta operación puede demorarse lo establecido ya que estará conectada en línea a un tanque pulmón de 100 L que se estará llenando con la producción de la despulpadora.

$$C_{min} = \frac{m_p}{t_{pas}}$$

$$C_{min} = \frac{150[kg]}{2[h]} = 75[kg/h]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s$$

$$C_{real} = 75[kg/h] \cdot 1,3 \approx 100[kg/h]$$

Se considera un factor de seguridad del 30 % para este equipo por recomendación de la empresa. Esto nos da un capacidad real de 100 kg/h para este equipo. Es importante notar que la capacidad real de este equipo es igual a la del equipo anterior.

Ahora se dimensionarán los equipos que influyen indirectamente en el proceso, pero son fundamentales para el correcto funcionamiento de la planta productiva.

1. **Equipo de osmosis reversa:** Este equipo proveerá de agua para la producción de cerveza. El agua para limpieza y otros gastos hídricos será provista por la red municipal.

El *batch* más grande que hará esta planta es de 2000 L litros de cerveza, el cuál se dividirá en 2 cocciones de 1000 L efectivos (litros que efectivamente serán cerveza), ya que el bloque de cocción dimensionado tiene estas magnitudes. Hay que considerar también que el grano absorbe 1 L de agua por kg de grano aproximadamente, dato entregado por la empresa. Considerando que se usan 250 kg en promedio por cocción, 250 L se quedarán en el grano después del macerado. Después de esto se tendrá que hacer un lavado de granos para extraer todos los azúcares posibles. Se usarán 670 L por receta de la cervecería para este proceso. De esta forma, tenemos los siguientes cálculos para una cocción de 1000 L efectivos:

$$V_{H_2O_{tot}} = V_{H_2O_m} + V_{H_2O_i}$$

$$V_{H_2O_{tot}} = 750[L] + 670[L] = 1420[L]$$

De esta forma se necesitan 1420 L del equipo de osmosis para lograr cocinar 1000 L de cerveza. La capacidad del sistema será calculada para el *batch* más grande, es decir cuando se haga doble cocción para llenar el tanque de 2000 L .

$$V_{H_2O} = V_{H_2O_{tot}} \cdot 2 = 2820[L]$$

Habiendo dicho esto, se necesitan 2820 L de agua para este cometido. La empresa definió que esta agua deberá ser proporcionada en un tiempo máximo de 6 horas.

$$C_{min} = \frac{V_{H_2O}}{t_o}$$

$$C_{min} = \frac{2820[L]}{6[h]} = 470[L/h]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s$$

$$C_{real} = 470[L/h] \cdot 1,1 \approx 500[L/h]$$

Se utilizó un factor de seguridad del 10% por recomendación de la empresa. Esto nos da una capacidad de 500 L/h para el equipo de osmosis reversa. Este equipo alimentará al *Hot liquor tank* y al *cold liquor tank*.

2. **Hot liquor tank (HLT)**: El equipo recibe agua del equipo de osmosis y lo calienta a 75°C con energía de la caldera y lo mantenga a esta temperatura durante las cocciones.

Este equipo se dimensionará para los *batch* de 1000 L, ya que a medida que se vacía este estanque con los procesos que requieren de agua caliente (maceración y lavado de granos), se irá agregando agua y calentando. Los tiempos permiten esto, ya que el tiempo entre cada *batch* de 1000 L es de 3 horas como mínimo.

Importante recordar que se necesitan 1410 L de agua para la cocción de 1000 L. Todos estos litros tendrán que estar a disposición inmediata en este equipo, por lo que la capacidad mínima del estanque es de 1410 L. Por recomendaciones del maestro cervecero, se utilizará un factor de seguridad del 40%, ya que se considera agua caliente para la limpieza posterior, como también tener un *buffer* térmico para cuando se tenga que rellenar el tanque.

$$C_{min} = 1410[L]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s$$

$$C_{real} = 1410[L] \cdot 1,4 \approx 2000[L]$$

Con esto, se tiene que contar con un *hot liquor tank* de 2000 L.

3. **Cold liquor tank (CLT)**: Este estanque mantendrá agua de osmosis, que será enfriada por el chiller. Este líquido servirá para enfriar el mosto después del hervido (luego de pasar por el intercambiador de calor (IC) se dirigirá al *hot liquor tank*, como también para regular temperatura en el macerado.

Es importante recalcar que la gran mayoría del agua para la cocción de la cerveza la proveerá el *hot liquor tank*. Haciendo un balance de energía con el agua que entra al macerador: agua caliente entra a 75°C, la fría a 1°C y se necesita que la mezcla este a 71°C

(para poder llegar a $65^{\circ}C$ con la adición de las maltas). En total son 750 L que se descompone en 710 L provenientes del *hot liquor tank* y 40 L vienen del *cold liquor tank* [30].

Con lo anterior, falta calcular el agua necesaria para enfriar el mosto caliente. Se dimensiona para una cocción por la misma razón que el equipo anterior: existe tiempo para reiniciar los procesos, especialmente para que los tanques lleguen a las temperaturas requeridas. En el dimensionamiento del IC se propone un flujo volumétrico de 3000 L/h y una duración de 30 minutos para cada cocción.

$$\begin{aligned}
 V_{H_2O_e} &= \dot{Q}_{H_2O_e} \cdot t_e \\
 V_{H_2O_e} &= 3000[L/h] \cdot 0,5[h] = 1500[L] \\
 C_{min} &= V_{H_2O_e} + V_{H_2O_m} \\
 C_{min} &= 1500[L] + 40[L] = 1540[L] \\
 C_{real} &= C_{min} \cdot F_s \\
 C_{real} &= 1540[L] \cdot 1,3 \approx 2000[L]
 \end{aligned}$$

Con lo anterior tenemos que se necesitan 1500 L de agua fría que se dirige al IC y 40 L que se usan para el macerado. Se considera un factor de seguridad del 30 % (número recomendado por la empresa) que cubrirá cualquier tiempo extra necesario de enfriado como también otras necesidades de agua fría imprevistas.

Con lo anterior, se necesita un *cold liquor tank* de 2000 L . Se recalca que tiene el mismo volumen que el *hot liquor tank*, facilitando operación, instalación y compra.

4. **Estanque de Glicol:** Este equipo contendrá la mezcla de agua con glicol (glicol de ahora en adelante) al 20 %, que permitirá enfriar este líquido a $-5^{\circ}C$ sin problemas [31]. Este estanque proveerá a las chaquetas de los fermentadores y del *cold liquor tank* glicol frío en un circuito cerrado.

Para dimensionar este equipo se utilizan referencias de cervecerías visitadas (no se pueden mencionar en este documento por compromiso con estas empresas) junto con la recomendación del maestro cervecero. Lo recomendado por estas fuentes es que el tanque sea el doble de la capacidad efectiva del módulo de cocción. Esta aproximación toma en cuenta en cuenta factores de seguridad.

$$\begin{aligned}
 C_{real} &= C_{brewhouse} \cdot 2 \\
 C_{real} &= 1000[L] \cdot 2 = 2000[L]
 \end{aligned}$$

Siguiendo este raciocinio, el tanque debería tener una capacidad de 2000 L , manteniendo el tamaño de los tanques auxiliares iguales (HLT, CLT y el dimensionado recientemente).

5. **Chiller:** Este equipo será el encargado de extraer calor del glicol. En otras palabras, mantendrá el tanque de glicol a una temperatura operacional de $-5^{\circ}C$.

Para dimensionar este equipo se tiene que calcular cuanto calor se desea remover de la planta. Se dividirá en 2 partes: enfriar tanques (enfriamiento) y disipar calor de fermentación (fermentación). Se utilizó la metodología de la empresa *American chillers* para llevar a cabo este dimensionamiento [32], la cual fue respaldada por la empresa mandante.

Partiendo con el enfriamiento, se tiene una capacidad para 10.000 L de cerveza y un tanque de 2000 L de agua fría. Se calcula la máxima diferencia de temperatura que tendrán estos tanques, los cuales tendrán que bajar de $23^{\circ}C$ a $1^{\circ}C$. Con estos datos, se utiliza la fórmula de calor para saber cuanto calor remover. Se utiliza la densidad el agua y la capacidad calorífica del agua para los cálculos, ya que la cerveza verde (la que requiere enfriarse para ir a maduración) es principalmente agua.

$$\begin{aligned}
 q_e &= m_t \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot \Delta T \\
 V_t &= V_c + V_{H_2O} \\
 V_t &= 10000[L] + 2000[L] = 12000[L] \\
 m_t &= V_t \cdot d_{H_2O} \\
 m_t &= 12000[L] \cdot 1[kg/L] = 12000[kg] \\
 \Delta T &= 23[^{\circ}C] - 1[^{\circ}C] = 22[^{\circ}C] \\
 \Rightarrow q_e &= 12000[L] \cdot 4,18[kJ/kg^{\circ}C] \cdot 22[^{\circ}C] = 1104[MJ]
 \end{aligned}$$

Si se toma en consideración que la planta necesita que estos cambios de temperatura sean efectuados en máximo 18 horas (dato entregado por la empresa), se obtiene la potencia necesaria para el enfriamiento.

$$\begin{aligned}
 P_e &= \frac{q_e}{t_e} \\
 P_e &= \frac{1104[MJ]}{18 \cdot 3600[s]} = 17,0[kW]
 \end{aligned}$$

Esto nos entrega que se necesita una potencia de enfriamiento de 17,0 kW . Pasando a la fermentación, se necesita el volumen total de fermentación, la cantidad de *bricks* utilizados y el calor disipado por unidad de *brick*. Un *brick* se define como la cantidad de material fermentable necesaria para producir un 1 % de alcohol en volumen en 45.36 kilogramos de mosto (100 libras). La cerveza contiene 0,128 *brick* por litro en promedio y cada *brick* libera 295 kJ de calor en fermentación. Finalmente, la fermentación activa dura 70 horas por lo general. Todo lo anterior se base en la metodología mencionada anteriormente, como también datos de la compañía.

$$\begin{aligned}
 B_t &= V_c \cdot b \\
 B_t &= 10000[L] \cdot 0,128[brick/L] = 1282[brick] \\
 q_f &= B_t \cdot Q_b
 \end{aligned}$$

$$q_f = 1282[\text{brick}] \cdot 295[\text{kJ/brick}] = 379[\text{MJ}]$$

$$P_e = \frac{q_f}{t_f}$$

$$P_e = \frac{379[\text{MJ}]}{70 \cdot 3600[\text{s}]} = 1,5[\text{kW}]$$

Ahora sumamos ambas potencias y utilizamos un factor de seguridad del 25 % (se sugiere utilizar del 10 % al 15 %, pero debido a las temperaturas en el verano en este país, se decide por aumentar este porcentaje).

$$P_{min} = P_e + P_f$$

$$P_{min} = 17,0[\text{kW}] + 1,5[\text{kW}] = 18,5[\text{kW}]$$

$$P_{real} = P_{min} \cdot F_s$$

$$P_{real} = 18,5[\text{kW}] \cdot 1,25 \approx 23[\text{kW}]$$

Finalmente, para poder asegurar las necesidades de frío de la planta, se necesita un *chiller* con una potencia de 23 kW.

6. **Caldera:** Esta caldera proveerá de vapor caliente que elevará la temperatura del *HLT*, el macerador y el hervidor.

Primero se calcula la carga térmica, que es la cantidad de energía requerida para calentar los recipientes y el mosto durante el proceso de elaboración. Se utiliza la ecuación de potencia, asumiendo densidad del agua (1 kg/L) y calor específico del agua (4,18 kJ/kg°C para todos los líquidos por simplicidad. Se calcula la potencia necesaria para el macerador, hervidor y *HLT* por separado, para luego sumarlas y obtener la potencia total.

$$P = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t}$$

Para el macerador, como ingresará agua previamente calentada del *HLT*, el calor necesario para este equipo es de mantención (es decir, contrarrestar las pérdidas de calor), por lo que se utiliza un ΔT de 5 °C (datos de la empresa). También este equipo tendrá 1000 kg dentro de él y se asume que todo es agua. El periodo utilización de este equipo es de 1 hora.

$$P_m = \frac{1000[\text{kg}] \cdot 4,18[\text{kJ/kg}^\circ\text{C}] \cdot 5[^\circ\text{C}]}{3600[\text{s}]} = 5,8[\text{kW}]$$

Para el hervidor, ingresará mosto a 65 °C y tendrá que ser llevado a 100 °C para lograr un hervor controlado por 1 hora. Este equipo contará con 1100 L al inicio del hervor y se asume las cualidades fisicoquímicas del agua.

$$P_h = \frac{1100[\text{kg}] \cdot 4,18[\text{kJ/kg}^\circ\text{C}] \cdot (100 - 65)[^\circ\text{C}]}{3600[\text{s}]} = 44,7[\text{kW}]$$

Por último, para el *HLT*, se utiliza un volumen de 1800 L (90% de la capacidad total del equipo), una temperatura de entrada de 20 °C y de operación de 75 °C. Por último, este equipo necesita calentar el agua en 4 horas como máximo.

$$P_{HLT} = \frac{1800[kg] \cdot 4,18[kJ/kg^{\circ}C] \cdot (75 - 20)[^{\circ}C]}{3600[s] \cdot 4} = 28,7[kW]$$

Con lo anterior, se puede calcular la carga térmica total:

$$P_t = P_m + P_h + P_{HLT}$$

$$P_t = 5,8[kW] + 44,7[kW] + 28,7[kW] = 79,2[kW]$$

Con esto se puede calcular cuanto vapor se necesita. El jefe de planta de la empresa indica que se trabaja con vapor a 3 bar y 150 °C en las cervecerías. También las calderas tienen una eficiencia promedio del 80%. Para calcular la capacidad, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{min} = \frac{P_t}{h_v \cdot e}$$

$$C_{min} = \frac{79,2[kJ/s]}{2761,2[kJ/kg] \cdot 0,8} = 0,036[kg/s] = 129[kg/h]$$

$$C_{real} = C_{min} \cdot F_s$$

$$C_{real} = 129[kg/h] \cdot 1,3 \approx 170[kg/h]$$

En donde P_t es la carga térmica, h_v es la entalpía específica del vapor a 3 bar y 150 °C [33] y e el factor de eficiencia. Por último se utiliza un factor de seguridad del 30% por recomendación de la empresa. Esto resulta en que la caldera tiene que proveer de 170 kg/h de vapor de 3 bar y 150 °C.

7.3. Resumen equipos

Con los dimensionamientos anteriores se tienen los equipos principales de la planta y se resumen en la tabla a continuación.

Tabla 7.1: Resumen dimensionamiento equipos.

Equipo	Cantidad	Dimensión Característica	Magnitud	Unidad
Molino	1	Flujo másico malta	1000	kg/h
Macerador	1	Volumen	1300	L
Hervidor	1	Volumen	1300	L
IC	1	Área de intercambio	2,6	m^2
Hidratador	1	Volumen	30	L
Fermentador 1	4	Volumen	2500	L
Fermentador 2	2	Volumen	1250	L
Bines de limpieza	2	Volumen	1500	L
Despulpadora	1	Flujo másico fruta	100	kg/h
Pasteurizador	1	Flujo másico pulpa	100	kg/h
Osmosis Reversa	1	Flujo volumétrico agua	500	L/h
HLT	1	Volumen	2000	L
CLT	1	Volumen	2000	L
Estanque glicol	1	Volumen	2000	L
Chiller	1	Potencia	23	kW
Caldera	1	Flujo másico vapor	170	kg/h

Capítulo 8

Balances de masa

En esta sección se expondrán los balances de masa para este proceso industrial, para poder tener una noción exacta del proceso, como también poder tener un análisis económico acertado más adelante.

Cabe recalcar que se utilizaron los datos levantados por la empresa en sus procesos para estos cálculos en vez de recurrir a bibliografía o cálculos estequiométricos de las reacciones más importantes. Se abordó de esta forma para tener una representación real del proceso productivo que ya tiene la compañía. De esta forma, las reacciones bioquímicas que suceden principalmente en la fermentación son reemplazadas por tasas de producción por unidad de volumen (se explicará detalladamente en el equipo).

Continuando, se elabora el balance de masa basándose en un *batch* de 1000 litros y utilizando insumos promedios (malta, lúpulo y fruta) para las distintas recetas que tiene la cervecería. También se toman en cuenta solo los equipos que interactúan directamente con los insumos. No se consideran para los balances de masa del *chiller* con el tanque de glicol, ya que están conectados en un circuito cerrado, como tampoco los estanques de agua, la caldera ni el equipo de osmosis reversa por ser considerados equipos secundarios.

Por último se hace un balance de masa simplificado ya que se analiza un proceso industrial que no necesita purificación. Si no se hiciera de esta forma, se estarían nombrando cientos de compuestos que su presencia en los flujos es insignificante para los volúmenes que se tratarán en esta planta.

8.1. Balance por equipo

Para usarlo como guía, se presenta el diagrama de bloques para el proceso completo en la figura siguiente.

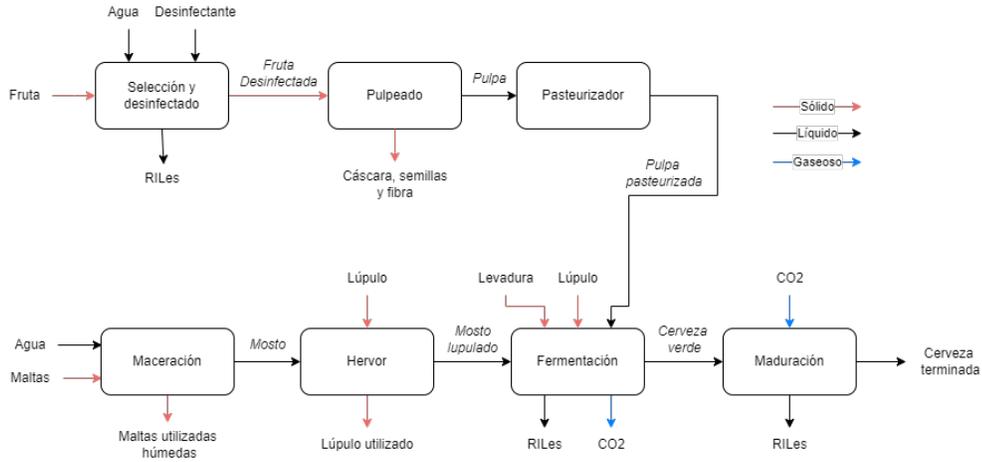


Figura 8.1: Diagrama de bloques del proceso.

Entre los puntos a destacar de este diagrama, que podría causar confusión, es que la malta entra a la maceración previamente molida por el molino. Junto con esto, la levadura entra sólida al hidratador de levadura. Este equipo no se considera independiente, sino más bien una adición del fermentador. También, las etapas de fermentación y maduración son procesos que se llevan a cabo en el mismo equipo: el fermentador. La gran diferencia, es la temperatura, la cuál baja sustancialmente de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se mantiene a esa temperatura por 1 semana aproximadamente.

Continuando con el balance de masa, partimos por la línea de cerveza para posteriormente pasar a la línea de la fruta. Los equipos son independientes a las etapas, ya que una etapa podría contar con más de un equipo como también 2 etapas podrían tomar parte en un equipo.

Por último, la especie “merma” se refiere a la pérdida de la especie útil (que pasa a la siguiente etapa) por la razón especificada en cada ítem.

1. **Molino:** En este proceso entra la malta en grano y sale molida como un polvo grueso.

Tabla 8.1: Balance de masa molino.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Malta	250	250
TOTAL	250	250

La pérdida de producto es despreciable en este equipo, ya que se pierden un par de gramos y estamos trabajando en kilogramos. Se aclara que este es un proceso físico.

2. **Macerador:** a este equipo entra la malta molida del equipo anterior junto con agua para la maceración. En este tanque habrán dos momentos distintos de entrada de agua. El primero es cuando entra la malta y se agregan 750 litros de agua a $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el proceso de maceración. Solo se agrega una fracción del agua por 2 razones: la primera es para asegurar una razón de agua:malta adecuada para la extracción de azúcares (la empresa usa 3:1) y la segunda es por el tamaño del equipo (hay espacio máximo de

1300 litros). Luego de una hora, se agregan 615 litros de agua a 75°C para lavar el grano y hacer el *mash out* (proceso que inactiva las enzimas de la malta para que dejen de romper cadenas largas de azúcares en cadenas simples). Esto asegura la máxima extracción posible de azúcares, como también una mezcla deseable de estas en el mosto final (se tienen que tener sacáridos de distinto largo para que el producto final tenga un “cuerpo” deseable organolepticamente hablando).

Tabla 8.2: Balance de masa macerador.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Malta	250	250
Agua	1365	250
Mosto	0	1115
TOTAL	1615	1615

Como se observa, sale mosto de este equipo. Esto es una mezcla de agua con varios azúcares (maltosa, glucosa, sacarosa, fructosa y dextrinas) que luego serán el alimento de la levadura. El grano absorbe 1 litro de agua por cada kilogramo de este, por lo que aparte de salir el grano, lleva consigo 250 L de agua. Se desprecia el grano que podría pasar con el mosto, ya que es cantidad ínfima.

3. **Hervidor:** en este tanque ingresa el mosto para ser hervido por 60 minutos. Junto con lo anterior, entran los lúpulos en distintos tiempos para agregar amargor, sabor o aroma, dependiendo del tiempo que permanecen a altas temperaturas. En promedio, se utilizan 3 kg de lúpulos para hacer cerveza Benbräu.

Tabla 8.3: Balance de masa hervidor.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Lúpulo	3	3
Agua	0	75
Mosto	1115	0
Mosto lúpulado	0	1040
Merma equipo	0	10
TOTAL	1118	1118

En las salidas, se aprecia que todo el lúpulo no continúa en el proceso y se queda en la olla de hervor. También se evaporan 75 kg de agua (o litros) que es la razón de evaporación por hora que se tiene actualmente en la planta maquiladora. Vemos como existe una transformación de mosto a mosto lupulado. El último se libró de compuesto sulfurados que vienen del macerado (DMS o H_2S) y cuanto con los distintos compuestos químicos aportados por el lúpulo (como alfa ácidos y aceites esenciales). Finalmente, se asocia una merma a este equipo, los cuales se quedan en el equipo luego de vaciar el tanque (*dead space* se le llama en inglés).

4. **Intercambiador de calor:** Aquí pasará el mosto lupulado (ML) de 90 °C para salir a 20 °C. Este equipo está incluido en la etapa del hervido y está acoplado al hervidor.

Tabla 8.4: Balance de masa IC.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Mosto lúpulado	1030	1020
Merma equipo	0	10
TOTAL	1030	1030

Al ser un proceso físico y cerrado, todo lo que entra, tiene que salir. La merma se asocia principalmente al ML que queda en la bombas y cañerías.

- Hidratador de levadura:** Aquí entrará levadura seca y se hidratará con 10 litros de agua. Se dejará reposar y se formará levadura líquida (denominada levadura de aquí en adelante), lista para hacer su trabajo. Este equipo esta conectado directamente a la salida del intercambiador de calor y este equipo esta conectado en línea con el fermentador, por lo que el mosto arrastrará la levadura hasta este último equipo mencionado.

Tabla 8.5: Balance de masa hidratador de levadura.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Mosto lúpulado	1020	1010
Levadura seca	1	0
Agua	10	0
Levadura	0	11
Merma equipo	0	10
TOTAL	1031	1031

Finalmente, se considera una merma de 10 *kg*, los cuales quedan en el equipo y las cañerías que conectan el hervidor y el fermentador.

- Fermentador:** Aquí entra el mosto lupulado junto con la levadura desde los equipos anteriores para empezar el proceso de fermentación. La levadura se alimentará de los azúcares de cadena corta principalmente (maltosa, glucosa y fructosa) para producir alcohol, CO_2 y biomasa. Después de 3 días de fermentación se agregarán 2 *kg* de lúpulo en un proceso que se llama *dryhop*. Este aporta principalmente aroma y sabor a la cerveza. Se añade en este momento, ya que la levadura sigue activa y biotransforma algunos compuestos del lúpulo su presencia en el producto final. Al 5^{to} día de fermentación, se agrega la pulpa. La levadura ha bajado su actividad, pero aún esta presente y consume cualquier azúcar fermentable presente en la fruta (de esta forma se aumenta la vida útil del producto). También biotransforma algunos compuestos, ayudando a integrar los sabores y aromas de la fruta a la birra.

Como se dijo anteriormente, la fermentación produce biomasa y CO_2 , aparte de alcohol (alcoholes si se habla técnicamente). La empresa tiene como dato que se producen 40 gramos por litro de cerveza de biomasa y 5 gramos de CO_2 por litro de cerveza. Es decir, se producen aproximadamente 40 *kg* de levadura (aparte de los 11 *kg* iniciales) y 5 *kg* de CO_2 . Ambos son descartados. También en las salidas se tienen 10 *kg* de pulpa. Esto es la parte de la pulpa que decanta con el frío aplicado al 7^{mo} día (fibras principalmente).

Tabla 8.6: Balance de masa fermentador.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Mosto Lupulado	1010	0
Levadura	11	51
CO₂	5	5
Lúpulo	2	2
Pulpa	50	10
Cerveza	0	960
Merma equipo	0	50
TOTAL	1078	1078

Aparte, el frío hace decantar el lúpulo y la levadura, los que son retirados por la parte inferior del fermentador. El proceso no es perfecto y se lleva consigo bastante cerveza, que se considera la merma del equipo.

Lo que queda en el fermentador, madura por 10 días en frío a 3 grados y se le agrega 5g de CO_2 por litro para gasificar el producto. Esto último paso entrega la cerveza terminada.

*Como modo de aclaratoria, el CO_2 que entra es en la maduración y el CO_2 que sale es en la fermentación (coincidentemente tienen la misma magnitud).

- Bines de limpieza:** Aquí entrará la fruta entera con agua y agentes de limpieza (no son considerados en el balance de masa ya que para 300 litros de agua se necesitan aproximadamente 1 ml de sanitizante). Entran 100 kg de fruta, ya que en promedio se necesitan cerca de 50 kg de pulpa pasteurizada finales.

Tabla 8.7: Balance de masa bins limpieza.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Fruta	100	90
Agua	300	300
Merma	0	10
TOTAL	400	400

Se nota una merma de 10 kg, que se explican por fruta en mal estado o *machucada*.

- Despulpadora:** la fruta limpia entra en este equipo, el cuál se encarga de separar cáscara, semillas y fibra de la pulpa de la fruta. Esta fruta entera se separa en pulpa y residuos (mencionados anteriormente).

Las 3 frutas en estudio tienen un promedio de 60% aproximadamente de rendimiento. Es decir, el 60% de la fruta que entra a la despulpadora, sale como pulpa en promedio.

Tabla 8.8: Balance de masa despulpadora.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Fruta	90	0
Pulpa	0	54
Residuos	0	36
TOTAL	90	90

9. **Pasteurizador:** la pulpa sale del equipo anterior y entra inmediatamente a este equipo que pasteuriza en línea el producto.

Tabla 8.9: Balance de masa pasteurizador.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Pulpa	54	50
Merma equipo	0	4
TOTAL	54	54

La pulpa es luego pasado a baldes con tapa, previamente sanitizados para enfriar. Una vez templados, se agrega al fermentador este ingrediente. Existe una pequeña merma debido a que esta pulpa queda adentro del equipo.

8.2. Balance global

El balance de masa global del proceso toma en cuenta todo lo que entra y todo lo que sale del sistema. En las entradas se destacan los ingredientes principales de la cerveza Benbräu: agua, malta, lúpulo, levadura y fruta.

Tabla 8.10: Balance de masa global.

Especies	Entradas [kg]	Salidas [kg]
Malta	250	250
Lúpulo	5	5
Levadura	11	51
Agua	1665	625
Fruta	100	0
CO2	5	5
Cerveza	0	960
Merma	0	140
Total	2036	2036

En las salidas, se puede destacar el producto terminado (la cerveza), agua y la merma, que es una mezcla de todas las pérdidas explicitadas en la sección anterior.

Punto importante a destacar es que para producir 960 *kg* de producto final, se tienen que ingresar 2036 *kg* de insumos, un rendimiento que es bajo, pero bastante común en esta industria.

Capítulo 9

Layout y estrategia de operación

En este capítulo se hablará del *layout* de la planta, es decir como se distribuirán espacialmente los distintos equipos, como también la estrategia de operación que dirigirá la planta. Estas últimas asegurarán el cumplimiento de los estándares de calidad del producto final, como también del funcionamiento óptimo de los equipos y las personas.

9.1. Layout

Para esto, se cuenta con un espacio de 345 metros cuadrados en una zona industrial, dispuestos de manera rectangular. Estos se dividirán en distintos espacios, como por ejemplo: producción, bodega de insumos, almacenamiento de producto terminado (cámara de frío), almacenamiento de barriles vacíos, oficinas, laboratorio y baños.

A pesar de que este proyecto no tiene entre sus requerimientos una línea de enlatado (la empresa ya cuenta con una), se incluye un espacio para esta. También se instalará en el espacio de almacenamiento de producto terminado una cámara de frío (100 m^3) y por otro lado un lavador de barriles. Estos son equipos que no se incluyeron en el dimensionamiento ya que se escapaban de los alcances del proyecto y se piden de catálogo para poder elaborar el *layout* y posterior análisis económico. Todo lo anterior es para garantizar un estudio realístico a las necesidades de la empresa.

Se cotizaron los equipos con la ayuda de la tabla 7.1 y se adjuntan las fotos de cada equipo, junto con una breve descripción del tamaño y puntos más importantes. Se adaptaron ciertas dimensiones características bajo las recomendaciones y disponibilidad del vendedor. Para la línea completa de cerveza se cotiza con la empresa *Shandong HG Machinery Co., Ltd* por recomendaciones de las cervecerías visitadas, como también del maestro cervecero del mandante. Por otra parte, la línea de producción de pulpa se consultó a distintas empresas.

- Molino



Figura 9.1: Equipo para la molienda de la malta.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 1000 kg/h y una potencia de $5,5 \text{ kW}$. Ocupa un espacio de $1\text{m} \times 0,6\text{m} \times 1,4\text{m}$ (Ancho, largo y alto respectivamente. De ahora en adelante se usará esta notación).

- **Brewhouse**



Figura 9.2: Brewhouse de la planta.

Este conjunto de máquinas incluye el macerador, hervidor, *HLT* y intercambiador de calor. También tiene todo el set de bombas y accesorios necesarios para su correcta operación. Este conjunto cuenta con una capacidad de 1000 L efectivos y una potencia de $3,75 \text{ kW}$ ($1,5 \text{ kW}$ para el motor que mueve la malta en el macerado y 3 bombas de $0,75 \text{ kW}$). Ocupa un espacio de $5,2\text{m} \times 2,5\text{m} \times 2,5\text{m}$.

- **CLT**



Figura 9.3: Cold liquor tank.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 2000 *L* y una potencia no consume electricidad. Ocupa un espacio de 1,4*m* x 1,4*m* x 2,5*m*. Este equipo es muy similar al *HLT*, solo que en vez de guardar agua caliente, guarda agua fría.

- **Caldera**



Figura 9.4: Caldera eléctrica.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 170 *kg/h* de vapor y una potencia de 120 *kW*. Ocupa un espacio de 0,7*m* x 0,7*m* x 1,7*m*.

- **Fermentadores**



Figura 9.5: Fermentador 1000 litros efectivos.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 1000 *L* efectivos (máximo volumen de líquido a su interior para su correcta operación) y no consume electricidad. Ocupa un espacio de 1,3*m* x 1,3*m* x 2,5*m*.

El equipo de 2000 *L* efectivos es muy similar (un poco más ancho) y tampoco consume energía. Ocupa un espacio de 1,6*m* x 1,6*m* x 2,5*m*.

- **Tanque de glicol**



Figura 9.6: Tanque de glicol.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 2000 *L* y una potencia de 0,75 *kW* (bomba para empujar el glicol hacia donde se necesite). Ocupa un espacio de 1,7*m* x 1,7*m* x 2,4*m*.

- **Chiller**



Figura 9.7: *Chiller*.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 18,6 *kW* de enfriamiento y consume una potencia de 25 *kW*. Ocupa un espacio de 2,1*m* x 1,1*m* x 1,7*m*.

- **Sistema de control PID**



Figura 9.8: Sistema de control PID.

Este equipo consume una potencia de 1 kW . Ocupa un espacio de $0,7\text{m} \times 0,4\text{m} \times 1,8\text{m}$.

- **Sistema de Osmosis Reversa**



Figura 9.9: Sistema OR.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 500 L/h de agua pura y consume una potencia de $5,5\text{ kW}$. Ocupa un espacio de $0,8\text{m} \times 1,0\text{m} \times 1,6\text{m}$.

- **Limpiador de barriles**



Figura 9.10: Limpiador de barriles con 1 cabezal.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 30 barriles por hora y consume una potencia de 3 *kW*. Ocupa un espacio de 1,2m x 1,6m x 2,1m.

- **Bines de limpieza**



Figura 9.11: Bines limpieza fruta.

Este contenedor cuenta con una capacidad de máxima de 1100 *L* y no consume electricidad. Para limpiar la fruta, estos bines son adecuados. Ocupan un espacio de 1,0m x 1,3m x 1,3m.

- **Despulpadora**



Figura 9.12: Despulpadora de fruta.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 300 *kg/h* y consume una potencia de 7,5 *kW*. Ocupa un espacio de 0,8m x 0,3m x 0,9m.

- **Pasteurizador**



Figura 9.13: Pasteurizador pulpa de fruta.

Este equipo cuenta con una capacidad de máxima de 100 L/h y consume una potencia de 6,5 kW. Ocupa un espacio de 0,9m x 0,8m x 1,4m.

Con estos equipos principales y sus dimensiones, se puede hacer un *layout* de la planta. Se tuvo en consideración las etapas lógicas en la cuál se agregan los insumos, para poder tener una línea operativa coherente.

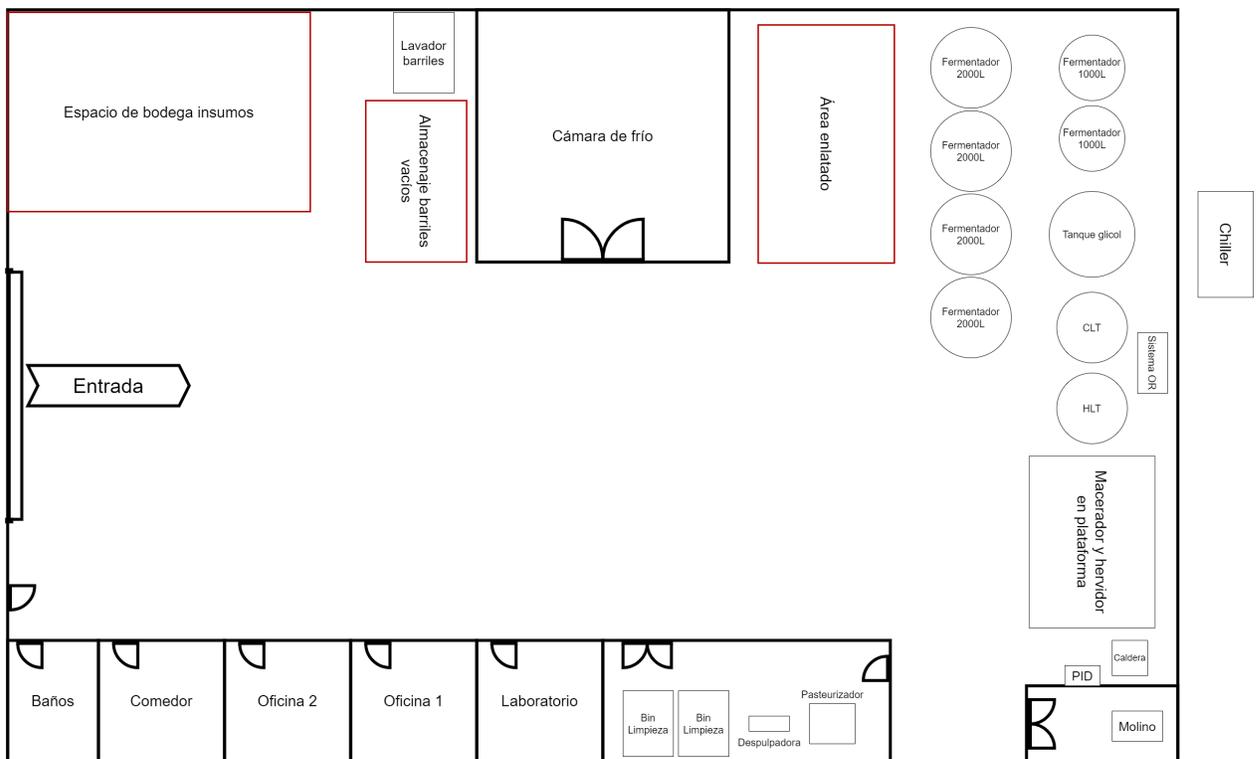


Figura 9.14: *Layout* propuesto planta productiva.

Se cuenta con un espacio de 23m x 15m aproximadamente. Al ser un galpón industrial, cuenta con una altura de 6 metros (o parecido). Es decir, no habrán problemas de altura. Se ingresa por el lado izquierdo, por una gran entrada de 5 metros de ancho para camiones (carga y descarga de material) o por una puerta peatonal. Si una persona esta entrando, a su derecha se encontrará con los baños, seguido de un comedor comunal, 2 oficinas y el

laboratorio (primordial para asegurar la calidad de los productos). Luego pasamos al área de elaboración de pulpas. La idea de ser una sala separada es para disminuir cualquier contaminación y controlar el proceso de manera óptima.

Luego pasamos a la sala de molienda. Al ser un proceso que levanta polvo, se decide por tener una sala cerrada para este proceso. El panel de control de toda la planta esta adosado a una de las paredes (PID) y la caldera eléctrica se pone a un lado. Seguidamente, se instala el *brewhouse*. Aquí estará el macerado y hervidor, junto a todos los accesorios necesarios montados en una plataforma. Estará conectado el *HLT* y el *CLT* a este equipo por tuberías para tener todas las necesidades de agua del proceso. Detrás de ambos tanques, se encontrará el equipo de osmosis reversa que proveerá de agua a ambos equipos mencionados recientemente. Continuando con el proceso, el tanque de glicol estará unos centímetros más allá. Este estará conectado con el *chiller* (que se encuentra fuera del edificio por la liberación de calor constante al ambiente), todos los fermentadores y el *CLT*. El *chiller* enfriará el líquido de trabajo (mezcla agua con glicol) que se calienta cuando se enfrían los distintos tanques. Todo lo anterior es un circuito cerrado.

Al lado de los fermentadores se encontrará el área de enlatado, en donde se instalará la enlatadora que ya posee la empresa. Después, se encontrará la cámara de frío (5m x 5m x 4m). Aquí se guardará todo el producto terminado en barriles y latas. La cámara cuenta con un *chiller* propio para extraer el calor del interior que estará por fuera del edificio, pero se omitió para evitar confusiones con el *chiller* principal. Próximo a la cámara, hacia el otro lado, se encuentra el lavador de barriles junto al área de almacenamiento de estos. Se considera una compra de 400 barriles de 30 L cada uno para asegurar tener contenedores suficientes para guardar la producción total (10.000 L mensuales) e incluso tener de sobra ante cualquier infortunio. Finalmente, se encuentra el área de bodega de insumos. Aquí estarán las maltas, lúpulos, levadura, latas, etiquetas, cajas, etc. La idea es trabajar con un sistema *just in time* (los insumos llegan al momento de la producción) para poder minimizar el espacio utilizado en guardar materias primas.

Es importante mencionar que el espacio central no se perderá y se utilizará para distintas cosas. Por ejemplo: recepción de insumos, preparación de pedidos o simplemente un patio de maniobras.

9.2. Estrategia de operación

Para poder operar una planta cervecera es importante lograr una coordinación de todas las áreas involucradas en la empresa. Por lo mismo, se propone una estrategia de operación que mantendrá ordenadas las labores del día a día.

1. Planificación de la producción: Determinar la cantidad de cerveza que se debe producir en función de la demanda del mercado y de las ventas proyectadas. Planificar la producción de cada tipo de cerveza y establecer un calendario de producción para asegurar que haya suficiente inventario en el momento adecuado.
2. Compra de insumos: Adquirir los ingredientes necesarios para la elaboración de la cerveza, incluyendo malta, lúpulo, levadura y fruta. Establecer un sistema de control de

inventario para asegurarse de que siempre haya suficiente suministro de materiales. Importante destacar que se tiene buscar cuadrar las recetas, es decir, que se utilicen todos los insumos comprados. De esta forma, se compran insumos para cada *batch* y no sobran para uno siguiente. Con esto se reduce la posibilidad de que se malogren las materias primas.

3. Cocción de la cerveza: Moler la malta y preparar la mezcla de granos. Hacer maceración, filtrado y cocción del mosto. Enfriar el mosto y transferirlo a los tanques de fermentación para su fermentación. Añadir el lúpulo y otros aditivos según sea necesario.
4. Fermentación: Controlar la temperatura y la presión de los tanques para permitir la correcta biotransformación del mosto a cerveza. Monitorear el progreso de la fermentación y ajustar las condiciones según sea necesario para lograr el sabor y aroma deseados. Durante esta etapa, se preparan las pulpas de fruta y se agregan al tanque.
5. Maduración: Bajar la temperatura del tanque para maduración y dejarla reposar durante un período de tiempo determinado para permitir que los sabores y aromas se desarrollen completamente. Aquí también se va purgando la levadura y borra que decanta por el cono inferior para ir limpiando la cerveza.
6. Envasado: transferir la cerveza a barriles o latas, con sus respectivas etiquetas. Establecer un sistema de control de calidad para asegurarse de que la cerveza se envasa correctamente para que cumpla con los estándares impuestos por la empresa.
7. Distribución: Almacenar la cerveza terminada en la cámara de frío. Distribuir la cerveza a los clientes a medida que salgan los pedidos, incluyendo bares, restaurantes y tiendas minoristas.
8. Seguridad e higiene: Establecer y mantener un protocolo de seguridad e higiene para garantizar un ambiente seguro y limpio para los trabajadores y para la producción de la cerveza. Capacitar al personal para que cumplan las mejores prácticas es primordial. Se destaca la importancia de la higiene a la hora de elaborar cerveza, ya que se tienen que sanitizar todos los equipos constantemente para evitar cualquier contaminación del producto terminado.
9. Mantenimiento: Realizar un mantenimiento regular en la maquinaria y equipo de la cervecería para asegurar un funcionamiento correcto. Llevar un registro del mantenimiento y de las reparaciones necesarias. Se recomienda hacer mantención ligera una vez al mes y profunda cada 6 meses.

Capítulo 10

Estudio de factibilidad

Para poder saber si el proyecto es factible se necesita hacer un análisis multicriterio. En este caso, los criterios seleccionados son ambientales, productivos y económicos. Cada uno de estos necesita KPIs (*key performance indicator* en inglés o indicador clave de rendimiento en español). Estos ayudarán a evaluar de forma objetiva los distintos criterios seleccionados.

Para el criterio ambiental, los KPIs seleccionados son los siguientes:

1. **Consumo de agua:** mide la cantidad de agua utilizada en la operación del proyecto.
2. **Consumo de energía:** mide la cantidad de energía utilizada en la operación del proyecto.
3. **Generación de residuos:** mide la cantidad de residuos generados durante la operación del proyecto.

Para el criterio productivo, los KPIs seleccionados son los siguientes:

1. **Rendimiento:** mide la cantidad de cerveza producida en relación con la cantidad de insumos utilizados.
2. **Equipos:** mide la cantidad de equipos distintos y la dificultad de operación de estos.
3. **Personal:** la cantidad de personas necesarias que se necesitan en la empresa.

Para el criterio económico, los KPIs seleccionados son los siguientes:

1. **Valor actual neto (VAN):** mide la rentabilidad del proyecto en términos de flujos de efectivo futuros descontados al presente.
2. **Tasa interna de retorno (TIR):** mide la rentabilidad del proyecto en términos de la tasa de rendimiento anual esperada.
3. **Periodo de recuperación (PR):** mide el tiempo necesario para que el proyecto recupere la inversión inicial.

Estos parámetros ayudarán a definir si es un proyecto viable como también dará luces sobre posibles mejoras.

10.1. Parámetros ambientales

10.1.1. Consumo de agua

Con el balance de masa elaborado anteriormente, se puede rescatar el consumo de agua del proceso para un *batch* de 1000 litros (de ahora en adelante cuando se menciona *batch* se refiere a esto). A esto se le tiene que sumar el agua de limpieza, la que se calcula en 1000 litros por *batch* (dato entregado por la compañía).

$$H_2O_t = H_2O_p + H_2O_l$$

$$H_2O_t = 1665[L] + 1000[L] = 2665[L]$$

Se utilizan 2665 *L* de agua para producir 960 *L* de producto final (sacado del balance de masa). Esto solo considera el agua utilizada en la planta.

$$H_2O_{mes} = H_2O_t \cdot b_{mes}$$

$$H_2O_{mes} = 2665[L] \cdot 10 = 26650[L]$$

Si se producen 10 *batch* de 1000 *L* al mes, como se propone en la base de diseño, se utilizan 26.650 *L* de agua mensualmente para producción. Se redondea hasta los 30.000 *L* mensuales, que consideran gastos hídricos extras, como por ejemplo la utilización de agua para fines humanos (baños, cocina, bebestible, etc.).

10.1.2. Consumo de energía

Para el consumo total de energía se hace una tabla de potencia con todos los equipos que consumen energía. A los descritos en el *layout* se agrego el sistema CIP (el cuál se omitió del plano al ser un equipo móvil) y la cámara de frío, la cuál se calculó la potencia basándose en una similar que se encontraba en una cervecería visitada. Se presentan los resultados a continuación.

En esta tabla se pueden apreciar la potencia (detalladas en el capítulo anterior) y las horas mensuales de consumo. Estas se basaron en un mes de 30 días y 24 horas. Junto con el maestro cervecero de la compañía se aproximaron las horas de operación para cada equipo y de esta forma se calculo el consumo mensual de cada equipo. También se considera una eficiencia del 50 %, es decir, que el equipo estuvo un 50 % del tiempo operando a su máxima capacidad.

A continuación se detallará la lógica para las horas de operación para cada equipo. El molino se utiliza por 30 minutos en cada *batch* y se hacen 10 *batch* al mes, dando un total de 5 horas. El brewhouse funciona 2 horas por *batch*. Si se hacen 10 *batch* al mes, da un total de 20 horas. La caldera en cambio funciona a su máxima capacidad 30 minutos por *batch*. Es decir, 5 horas mensuales. El tanque de glicol (bomba del tanque) junto al *chiller* funcionan en conjunto ya que la bomba lleva al líquido a ser enfriado. Esto se calculo que funcionan 20 días al mes (cuando se requiere enfriar los tanques), principalmente en la maduración y por experiencia de la compañía, estos funcionan 3 horas al días en total (no continuamente). Esto da un total de 120 horas, pero si se considera que están un 50 % del tiempo a capacidad, da un total de 30 horas. En cambio, el sistema de control PID tiene que funcionar las 24 horas del día, los 30 días del mes. Es decir, 720 horas mensuales y considerando el 50 % de eficiencia, da

Tabla 10.1: Consumo de energía equipos principales.

Equipo	Potencia [kW]	Operación [h/mes]	Consumo [kWh]
Molino	5,5	5	28
Brewhouse	3,8	10	38
Caldera	120	5	600
Tanque glicol	0,8	30	23
Chiller	25	30	750
Sistema control PID	1	360	360
Sistema OR	5,5	30	165
Limpiador de barriles	3	5	15
Despulpadora	7,5	5	38
Pasteurizador	6,5	5	33
Sistema CIP	7,5	10	75
Cámara de frío	12	60	720
Total			2843

un total de 360 horas. continuando, el sistema de osmosis reversa tiene que producir 30,000 L mensuales (calculados anteriormente) y tiene una capacidad de 500 L/h . Es decir, funciona 60 horas mensuales, pero solo 30 horas a su máxima capacidad. Análogamente, el limpiador de barriles tiene una capacidad de 30 barriles por hora y se requieren limpiar 300 barriles aproximadamente para envasar la producción total mensual. En otras palabras, funciona 10 horas al mes y 5 horas consumiendo el total de su potencia. Siguiendo, la despulpadora y el pasteurizador funcionan 1 hora por *batch*. Dicho de otro modo, funciona 10 horas al mes pero solo 5 horas consumiendo energía. Algo similar pasa con el sistema CIP. La diferencia es que este trabaja por 1 hora por *batch*. Sumando, serían 10 horas mensuales. Finalmente, la cámara de frío tiene un funcionamiento discontinuo y por experiencia de la empresa, estas funcionan 4 horas al día y un 50% del tiempo consumiendo la potencia total. Este equipo funciona todos los días del mes, por lo que da una suma total de 60 horas mensuales de operación.

Sumando todo lo anterior, esta planta consumiría 2843 kWh mensualmente en los equipos mencionados. La caldera, el *chiller* y la cámara de frío son los principales contribuidores a esta suma. A lo anterior se le agrega un 10% aproximadamente para cubrir todos los gastos eléctricos que significarían las luminarias y equipos pequeños. En conclusión, se consume un total de 3.150 kWh mensualmente.

Este consumo es respaldado por información de las cervecerías visitadas con un *layout* similar.

10.1.3. Generación de residuos

Nuevamente se recurre al balance de masa presentado anteriormente. En los residuos se considera todo lo que no es producto terminado.

Por el lado gaseoso, se tiene que se libera a la atmósfera 5 kg de CO_2 por *batch*. Utilizando

el mismo cálculo que para el agua, si se efectúan 10 *batch* al mes, se obtienen 50 *kg* de CO_2 expuestos al ambiente.

Por el líquido, obtenemos todas las mermas (excepto los 36 *kg* que salen de la despulpadora como merma), el lúpulo agregado en el *dryhop* y la levadura. Esto serían 104 *kg*, 2 *kg* y 51 *kg* respectivamente para un *batch*. La suma total sería de 157 *kg* y si lo aplicamos para el mes entero (10 *batch* al mes), da un gran total de 1570 *kg*.

Por el sólido, obtenemos toda la malta, el lúpulo agregado en la cocción y los residuos vegetales que salen de la despulpadora. Esto serían 250 *kg*, 3 *kg* y 36 *kg* respectivamente para un *batch*. La suma total sería de 289 *kg* y si lo aplicamos para el mes entero (10 *batch* al mes), da un gran total de 2890 *kg*.

Si sumamos todos los residuos, obtenemos lo siguiente:

$$R_t = R_g + R_l + R_s$$
$$R_t = 50[kg] + 1570[kg] + 2890[kg] = 4510[kg]$$

Es decir, esta planta produciría 4,5 toneladas de residuos (principalmente orgánicos) en 1 mes de operación. Los residuos líquidos (RILes) irían a parar al desagüe, ya que no presentan ninguna amenaza para el sistema de aguas y los residuos sólidos se entregarán a un empresa de tratamiento de residuos.

10.2. Parámetros productivos

10.2.1. Rendimiento

Nuevamente hay que apoyarse en el balance de masa. Para obtener 960 *kg* de cerveza (*kg* y *L* se usa intercambiamente en la cerveza, ya que se asume una densidad de 1 *kg/L*), hay que procesar 2036 *kg* de insumos. Con estos datos se calcula el rendimiento.

$$Y_c = \frac{m_c}{m_{it}}$$
$$Y_c = \frac{960[kg]}{2036[kg]} = 0,47$$

Esto da un rendimiento de 0,47. En otras palabras, el 47% de lo que entra, sale como producto final.

10.2.2. Equipos

Para este ítem, se utilizarán los datos de la tabla 7.1 para llegar a los resultados esperados.

Según esta tabla, se necesitan 21 equipos para lograr el cometido de hacer cerveza con adiciones de fruta. Como se menciona anteriormente, habría que instalar un lavador de barriles y una cámara de frío aparte. Y también en esta lista no se considera el sistema de bombas ni los paneles de control necesarios para la operación de la planta. De ahora en adelante, se considerarán todo lo anteriormente mencionado, especialmente para el análisis económico.

10.2.3. Personal

Se tuvo que definir un organigrama dentro de la empresa para poder atacar de forma conveniente este punto.

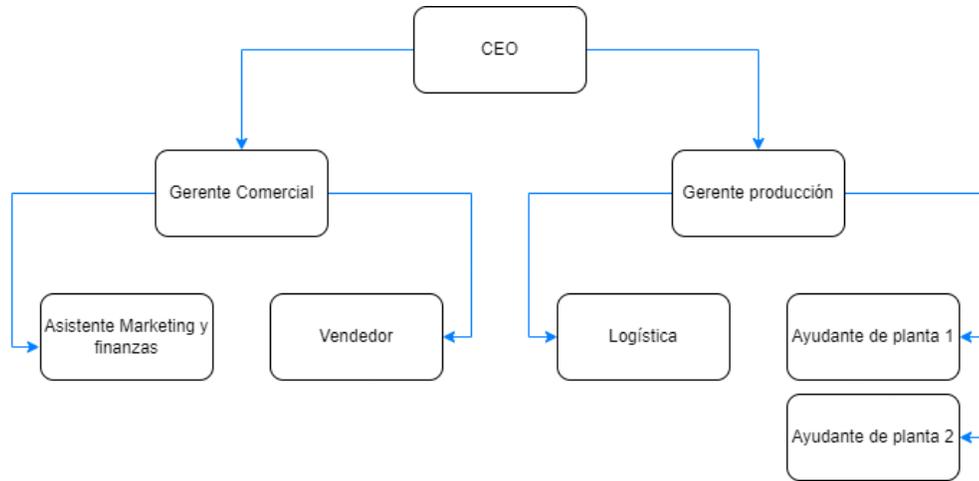


Figura 10.1: Organigrama de la empresa.

La figura anterior implica que hay 8 persona trabajando en la empresa. En reuniones con el mandante, se considera que es una muy buena aproximación a la realidad.

El CEO (o gerente general) está en cima, teniendo a 2 personas a su cargo directo: gerente comercial y gerente de producción. El primero, se encarga de la venta, marketing y finanzas, por lo que tiene a su disposición a 5 personas para que lo ayuden. El segundo en cambio, se encargará de la producción y de la operación general de la planta (logística, bodegaje y adquisiciones). Para esto tendrá 3 ayudantes en la producción (con diversas responsabilidades) y una persona subordinada que se encargará de la logística.

10.3. Parámetros económicos

Para lograr calcular los KPIs que se propusieron al principio de este capítulo, es importante desarrollar un planilla CAPEX (contracción del inglés *capital expenditure*) que indicará la inversión a desembolsar, como también una planilla OPEX (contracción del inglés *operational expenditures*) que dará luces sobre los costos operacionales de la empresa. Con estas planillas se podrá elaborar un flujo de caja que permitirá calcular el VAN, la TIR y el PR. Se utilizan dólares americanos como la moneda predeterminada en esta sección.

10.3.1. CAPEX

Para este tramo, se utilizaron cotizaciones hechas por el alumno con la empresa *Shandong HG Machinery Co., Ltd*, la cuál proveerá todos los equipos para línea de producción de cerveza. Junto con lo anterior, se cotizó en distintas compañías (extranjeras y nacionales) para todos los otros equipos.

A continuación se presentan un resumen de la distribución del CAPEX.

Tabla 10.2: Porcentaje CAPEX costos directos.

Costos directos	Porcentaje del CAPEX
Equipos	72 %
Instalación de equipos	1 %
Instrumentación y control	1 %
Piping	1 %
Instalación eléctrica	5 %
Construcciones	1 %
Instalaciones de servicios	2 %
TOTAL	83 %

Tabla 10.3: Porcentaje CAPEX costos indirectos.

Costos indirectos	Porcentaje del CAPEX
Ingeniería y supervisión	5 %
Gastos de construcción	5 %
Honorarios de contratistas	2 %
Contingencia	5 %
TOTAL	17 %

Estos fueron decididos en conjunto con la empresa y se consideran fiables debido a que el maestro cervecero ya ha instalado plantas anteriormente.

Para los equipos, se entregan los costos asociados a cada ítem. Se omiten los equipos de oficinas y laboratorio, que son considerados dentro de las instalaciones de servicios por el mandante. Se considera un 20 % extra para el valor CIF (puesto en Chile) en comparación con el valor FOB (precio entregado por las empresas de China).

Tabla 10.4: Resumen precios equipos.

Equipo	Cantidad	Precio CIF [USD]	Total [USD]
Molino	1	1.944	1.944
Tanque Macerado	1	7.752	7.752
Tanque Hervor	1	5.244	5.244
Tanque Buffer	1	672	672
Filtro de lúpulo	1	720	720
Intercambiador de calor	1	2.196	2.196
Bombas brewhouse	3	720	2.160
Plataforma	1	1.800	1.800
Tuberías y accesorios	1	4.344	4.344
Fermentador 1	2	3.960	7.920
Fermentador 2	4	5.782	23.126
Hidratador levadura	1	228	228
Mangueras sanitarias y accesorios	1	444	444
Bines limpieza	2	444	888
Despulpadora	1	1.380	1.380
Pasteurizador	1	696	696
Tratamiento de agua	1	3.792	3.792
HLT	1	4.584	4.584
CLT	1	4.584	4.584
Estanque glicol	1	4.584	4.584
Bomba glicol	1	612	612
Chiller	1	12.864	12.864
Caldera	1	6.720	6.720
Sistema limpieza CIP	1	3.864	3.864
Sistema control PID	1	4.296	4.296
Tuberías y accesorios enfriamiento	1	2.520	2.520
Cámara de frío	1	16.735	16.735
Limpiador de barriles	1	5.076	5.076
Barriles	400	64	25.776
Carro yegua	3	120	360
Traspaleta	1	468	468
TOTAL		108.741	157.881

Con los porcentajes mostrados anteriormente y los valores cotizados para el proyecto, se define el CAPEX del proyecto.

Tabla 10.5: CAPEX.

	Valor [USD]
CAPEX	219.279

Tabla 10.6: Valor CAPEX costos directos.

Costos directos	Valor [USD]
Equipos	157.881
Instalación de equipos	2.193
Instrumentación y control	2.193
Piping	2.193
Instalación eléctrica	10.964
Construcciones	2.193
Instalaciones de servicios	4.386
TOTAL	182.002

Tabla 10.7: Valor CAPEX costos indirectos.

Costos indirectos	Valor [USD]
Ingeniería y supervisión	10.964
Gastos de construcción	10.964
Honorarios de contratistas	4.386
Contingencia	10.964
TOTAL	37.277

10.3.2. OPEX

Este ítem se basa en todos los costos operacionales de la empresa. El organigrama y los sueldos respectivos (se definen con el mercado) junto con el arriendo del espacio y los servicios de administración (5 % del costo de la mano de obra) definen los costos fijos. Las materias primas, electricidad, agua y mantención (5 % del OPEX total) definen los costos variables.

A continuación se presentan los resultados monetarios del OPEX y se detallan sus elementos.

Tabla 10.8: OPEX.

	Valor [USD/año]
OPEX	309.777

Tabla 10.9: Valor costos fijos mano de obra.

Costos fijos mano de obra	Valor [USD/año]
Gerente general	36.000
Gerente comercial	24.000
Gerente producción	24.000
Asistente mark. y fin.	15.120
Vendedor	10.560
Logística	15.120
Ayudantes de planta	21.120
TOTAL	145.920

Tabla 10.10: Valor costos fijos generales.

Costos fijos generales	Valor [USD/año]
Arriendo	30.000
Servicios de administración	7.296
TOTAL	37.296

Tabla 10.11: Valor costos variables.

Costos variables	Valor [USD/año]
Levadura seca	14.640
Maltas	38.400
Lúpulos	30.000
Fruta	14.400
CO ₂	1.464
Energía eléctrica	12.384
Agua	522
Mantención	14.751
TOTAL	126.561

10.3.3. Flujo de caja

Con todo lo anterior se puede armar un flujo de caja para calcular el VAN, la TIR y el PR. Para construir este instrumento, se utilizó un horizonte de 10 años, depreciación continua durante 15 años (datos del SII para maquinaria), un precio de venta de 2,92 dólares el litro de cerveza y una producción anual de 115.200 *L* (10 *batch* mensuales de 960 *L* efectivos cada uno). Se aumento el precio de la cerveza en un 5% todos los años y un aumento de sueldos del 7% a los trabajadores anualmente (ajuste al IPSA). También se consideró un 20% del CAPEX como capital de trabajo inicial. Por último, no se considera pedir préstamos, por lo que no se estará pagando intereses en este caso.

Tabla 10.12: Flujo de caja del año 0 hasta el año 5.

Factores	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos por ventas	-	336.384	353.203	370.863	389.407	408.877
(-) OPEX	-	-309.777	-319.991	-330.921	-342.615	-355.128
(+/-) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-
(-) Depreciaciones	-	-10.525	-10.525	-10.525	-10.525	-10.525
(-) Pérdidas ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0
(=) Utilidad antes de Impuesto	0	16.082	22.687	29.417	36.266	43.223
(-) Impuesto (27%)	-	-4.342	-6.125	-7.943	-9.792	-11.670
(=) Utilidad después de Impuesto	0	11.740	16.561	21.475	26.474	31.553
(+) Depreciaciones	-	10.525	10.525	10.525	10.525	10.525
(-/+) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-
(+) Pérdida ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0
(=) Flujo de caja Operacional	0	22.265	27.087	32.000	37.000	42.078
(-) Inversiones (CAPEX)	-219.279	-	-	-	-	-
(-) IVA de la inversión	-41.663	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del IVA de la inversión	-	41.663	-	-	-	-
(+) Valor Residual de los activos	-	-	-	-	-	-
(-) Capital de trabajo	-43.856	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del Capital de Trabajo	-	-	-	-	-	-
(=) Flujo de Capitales	-304.798	41.663	0	0	0	0
Flujo de caja Neto	-304.798	63.928	27.087	32.000	37.000	42.078
VAN ANUAL	-304.798	57.079	21.593	22.777	23.514	23.876

Tabla 10.13: Flujo de caja del año 6 hasta el año 10.

Factores	AÑO				
	6	7	8	9	10
(+) Ingresos por ventas	429.321	450.787	473.326	496.992	521.842
(-) OPEX	-368.517	-382.843	-398.173	-414.575	-432.125
(+/-) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	10.525
(-) Depreciaciones	-10.525	-10.525	-10.525	-10.525	-10.525
(-) Pérdidas ejercicio anterior	0	0	0	0	0
(=) Utilidad antes de Impuesto	50.278	57.418	64.628	71.892	89.717
(-) Impuesto (27 %)	-13.575	-15.503	-17.450	-19.411	-24.224
(=) Utilidad después de Impuesto	36.703	41.915	47.179	52.481	65.494
(+) Depreciaciones	10.525	10.525	10.525	10.525	10.525
(-/+) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-10.525
(+) Pérdida ejercicio anterior	0	0	0	0	0
(=) Flujo de caja Operacional	47.228	52.440	57.704	63.007	65.494
(-) Inversiones (CAPEX)	-	-	-	-	-
(-) IVA de la inversión	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del IVA de la inversión	-	-	-	-	-
(+) Valor Residual de los activos	-	-	-	-	63.152
(-) Capital de trabajo	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del Capital de Trabajo	-	-	-	-	43.856
(=) Flujo de Capitales	0	0	0	0	107.008
Flujo de caja Neto	47.228	52.440	57.704	63.007	172.502
VAN ANUAL	23.927	23.721	23.306	22.721	55.541

Con el ejercicio anterior se puede calcular los KPIs buscados. Para la evaluación del VAN se utilizó una tasa de retorno del 12 %, que es estándar a la hora de analizar proyectos. Habiéndose aclarado esto, el VAN total sería la suma de los VAN anuales.

Tabla 10.14: Valor actual neto.

	Valor [USD]
VAN	-6743

La TIR se define como la tasa de retorno que vuelve VAN igual a 0. En términos simples, este indicador es la tasa de rendimiento que una inversión genera a lo largo de su vida útil.

Tabla 10.15: Tasa interna de retorno.

	Valor [%]
TIR	11,55

Finalmente, el período no se puede calcular, ya que el VAN es negativo en el estado actual del proyecto. Es decir, no se recupera el dinero en los 10 años dada la tasa de retorno definida.

Capítulo 11

Discusiones

En este capítulo se discutirán los KPIs establecidos en el capítulo anterior y ver si hace sentido el proyecto o no.

Partiendo por el lado ambiental, la planta tiene los siguientes KPIs:

Tabla 11.1: Resumen KPIs ambientales.

Item	Valor	Unidad
Consumo agua	30.000	L
Consumo eléctrico	3150	kWh
Residuos	4510	kg

Para una producción mensual de 9600 *L* aproximadamente, se consume más de 3 veces ese valor en agua (y esto es solo en la planta). La limpieza de los equipos tiene una influencia muy importante en este valor. En otras palabras, este proceso tiene una huella hídrica importante y por la situación actual de Santiago, hay que tomar medidas para bajar el consumo. Una propuesta interesante es desarrollar un sistema de recirculación del agua de limpieza para que esta pueda ser utilizada en más de una ocasión. Este proyecto habría que evaluarlo para ver si trae beneficios económicos.

En cuanto al consumo energético, esta planta fue diseñada para que toda la energía necesaria fuera entregada por electricidad, incluido el calor (no se utiliza otra fuente de calor como el gas). Por esta razón, existe un alto consumo de este ítem, que afecta los resultados económicos también. No esta demás decir que el proceso de elaborar cerveza es enérgicamente demandante, especialmente por los períodos de cocción (que requieren altas temperaturas) y los tiempos de frío que necesita este producto (se necesita retirar calor constantemente). Por suerte para la empresa, existen programas gubernamentales para la instalación de energías renovables, especialmente paneles solares (por estar en un galpón industrial, se podrían instalar en el techo). Estos no ayudarían a bajar el consumo, pero si a bajar el impacto ambiental y económico de este consumo. Se tiene que hacer un estudio aparte para analizar este proyecto para la empresa.

Terminando con el lado ambiental, los residuos que genera esta planta es una mezcla de sólidos, líquidos y gases. Todos los sólidos son de origen orgánico (malta, lúpulos y residuos de la fruta) y son considerados aptos para el alimento de animales. Varias cervecerías visitadas

ya empleaban estas prácticas, por lo que se recomienda hacer lo mismo para potenciar la economía circular. Por otra parte, los residuos líquidos son considerados inofensivos, por lo que el sistema de alcantarillado los tratará sin problemas. Otra historia es para los gases. La cantidad de gases expulsados a la atmósfera por el proceso directo de hacer cerveza en esta planta es mínimo (50 *kg* mensuales). Se podría analizar la compra de un sistema de captación de CO_2 y su posterior reutilización, pero por el precio de este insumo y el costo del sistema no va a ser viable. Se necesita producir 10 veces más cerveza para que un proyecto así haga sentido.

Continuando por el lado productivo, la planta tiene los siguientes KPIs:

Tabla 11.2: Resumen KPIs productivos.

Item	Valor	Unidad
Rendimiento	47	%
Equipos	21	uni
Personal	8	per

Viendo el rendimiento de la planta, es algo que se podría mejorar pero es aceptable dentro de la industria. Hay que considerar que dentro de los insumos que se consideran parte del proceso se encuentra el agua de limpieza de la fruta (300 *L* para un *batch*), lo que baja la eficiencia considerablemente (sube a 55 % si no se considera este item). Esta agua podría ser reutilizada en otros procesos, por lo que pasaría a tener una menor importancia. También hay que considerar las mermas que existen en el procesamiento de la fruta (cáscara, cuescos y fibra) y en la línea de producción de cerveza. Productos que son considerados merma podrían pasar a ser útiles, como la malta utilizada para hacer harina alta en fibra (ya que los azúcares fueron removidos) o las cáscaras de fruta para hacer compost. Todas estas ideas merecen un estudio detallado para ver la posibilidad de aplicarlas en la compañía.

En cuanto a los equipos, algunas tienen una mayor preponderancia que otros. Importante recalcar que se consideran los equipos más importantes del proceso y equipos secundarios o accesorios son omitidos. El número es adecuado para el tamaño de la planta y la gran mayoría son estanques, los cuales no tienen mayor complejidad en su operación. Los únicos equipos que podrían presentar cierta complejidad serían: la caldera, el *chiller* y los paneles de control. Teniendo en la dotación de personal una persona que sepa de estos equipos, que son ampliamente utilizados en la industria alimenticia, no deberían haber mayores complicaciones. Utilizando el *expertise* del estudiante, como también conversaciones con el maestro cervecero de la empresa, se considera que esta planta tiene un nivel de complejidad bajo. Lo anterior no significa que no se deberán hacer capacitaciones constantes para el equipo, ya que estas son fundamentales para el desarrollo del personal como también útiles para la empresa, ya que asegura independencia a los trabajadores para efectuar distintos procesos en las instalaciones.

En la otra mano tenemos al personal. Se consideran 8 personas para la operación de esta planta. Apoyándose en la figura 10.1, se puede hacer un análisis de las funciones primordiales de las distintas unidades. En el área productiva, tenemos a al gerente de producción, 2 ayudantes de planta y un encargado de logística. Basándose en la experiencia de la empresa junto con información recopilada de otras cervecerías, 2 personas son suficientes para operar

todos los equipos. Esto es por el simple hecho de que todos los flujos son transportados por bombas y conectar mangueras es la labor manual del día a día. Esto viene con la premisa importante que el gerente de producción de una mano a la hora de necesitar ayuda y guíe a sus subordinados. En cuanto a la persona encargada de logística, su labor es mover más de 300 barriles al mes entre la planta y los clientes. Una buena política de logística elevará la empresa a otros estándares, ya que la satisfacción de los clientes estará asegurada.

Pasándonos al área comercial, se tiene a 3 personas. El vendedor hará la labor de estar visitando a clientes constantemente y llevando las relaciones comerciales, con el apoyo del gerente comercial para los clientes más importantes. Ante un mercado de mucha competencia, tener relación estable con los clientes es primordial para mantener las ventas constantes. Junto con esto, se necesita una persona que lleve la contabilidad y el marketing (principalmente de redes sociales). Una empresa ordenada responde a los problemas de forma más eficiente. Para ambas personas, el gerente comercial será su supervisor y responderá ante cualquier problema que pueda haber.

Finalmente, el gerente general o *CEO* supervisará la labor de ambos gerentes. Esta persona tiene que manejar el área productiva y el área comercial al revés y al derecho para poder brindar apoyo a ambos. La empresa depende de esta persona y su visión estratégica marcará el futuro de la compañía.

Esta cantidad de personas es suficiente para el tamaño del proyecto e incluso se podría producir el doble con la cantidad de personas contratadas (agregar otro vendedor sería la única adición). No esta demás decir que esta empresa es pequeña, por lo que si se necesitan manos en algún proceso de la empresa, todos los integrantes del equipo brindan apoyo.

Pasando al análisis económico, se presentan los KPIs encontrados:

Tabla 11.3: Resumen KPIs económicos.

Item	Valor	Unidad
VAN	-6743	USD
TIR	11,55	%
PR	-	-

Como se puede observar, el VAN es levemente negativo cuando se considera una tasa de retorno de 12% a la hora de hacer el análisis (este valor es decidido por la empresa). Esto queda en evidencia cuando la TIR es levemente inferior a 12%, quedando en 11,55%. Dado lo anterior, el período de retorno no se puede calcular en el período de años decidido por la empresa. Es decir, en los 10 años de operación, no se recuperaría el dinero. El flujo de caja se considera correcto, ya que los ingresos toman en cuenta el precio de mercado de la cerveza artesanal y la producción total de la planta. En cuanto a los gastos, estos están detallados y son similares a otros proyectos cerveceros que el alumno visitó.

Habiéndose dicho todo lo anterior, hay varios factores a considerar para mejorar el estado actual del proyecto. Una de las bases del proyecto era no considerar la reutilización de ningún insumo. Esto afecta directamente los costos variables de producción. Por ejemplo, se podría

utilizar la levadura y en vez de comprar para cada *batch*, se podría reutilizar hasta 5 *batch* distintos, reduciendo los costos de levadura a un quinto. En la misma línea, la reutilización del agua de limpieza ayudará disminuir los costos operativos. Finalmente, la inclusión de un proyecto de paneles solares en la planta disminuiría considerablemente los costos de electricidad que significan un eslabón importante en los costos variables. Otro punto a mencionar es que generalmente hay una mayor rotación de fermentadores (carga y descarga del equipo en un período de tiempo) de lo que se establece en este trabajo. Este documento se presenta con la base de que la cerveza demora 1 mes en estar lista, por simplicidad y suponiendo el peor escenario. La realidad de la empresa evidencia que la cerveza esta lista a las 3 semanas, por lo que la producción anual aumenta considerablemente. Esto mejorará los indicadores económicos sustancialmente.

Por otro lado, no se considera un aumento de producción durante los 10 años. Esto se hizo intencionalmente por pedido de la empresa para ponernos en el peor caso posible. Si se considera la compra de 1 fermentador de 2000 L anualmente desde el año 2 al año 9, se mantiene el precio de la cerveza y los costos fijos (supuesto realista al comparar con otras cervecerías), el VAN aumenta a 911.695 USD y la TIR a 41,72 %, KPIs altamente interesantes en el lado económico. En tanto el periodo de recuperación sería al cuarto año, algo muy positivo para el mandante. A continuación se muestra el flujo de caja para este caso.

Tabla 11.4: Flujo de caja mejorado del año 0 hasta el año 5.

Factores	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos por ventas	-	336.384	423.844	519.209	623.050	735.978
(-) OPEX	-	-309.777	-345.303	-381.545	-418.552	-456.377
(+/-) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-
(-) Depreciaciones	-	-10.525	-10.930	-11.355	-11.801	-12.270
(-) Pérdidas ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0
(=) Utilidad antes de Impuesto	0	16.082	67.610	126.309	192.697	267.332
(-) Impuesto (27%)	-	-4.342	-18.255	-34.103	-52.028	-72.180
(=) Utilidad después de Impuesto	0	11.740	49.355	92.205	140.669	195.152
(+) Depreciaciones	-	10.525	10.930	11.355	11.801	12.270
(-/+) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-
(+) Pérdida ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0
(=) Flujo de caja Operacional	0	22.265	60.286	103.560	152.470	207.422
(-) Inversiones (CAPEX)	-219.279	-	-6.071	-6.375	-6.693	-7.028
(-) IVA de la inversión	-41.663	-	-1.154	-1.211	-1.272	-1.335
(+) Recuperación del IVA de la inversión	-	41.663	-	1.154	1.211	1.272
(+) Valor Residual de los activos	-	-	-	-	-	-
(-) Capital de trabajo	-43.856	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del Capital de Trabajo	-	-	-	-	-	-
(=) Flujo de Capitales	-304.798	41.663	-7.225	-6.432	-6.754	-7.092
Flujo de caja Neto	-304.798	63.928	53.061	97.128	145.717	200.330
VAN ANUAL	-304.798	57.079	42.300	69.134	92.605	113.673

Tabla 11.5: Flujo de caja mejorado del año 6 hasta el año 10.

Factores	AÑO				
	6	7	8	9	10
(+) Ingresos por ventas	858.641	991.731	1.135.983	1.292.180	1.356.789
(-) OPEX	-495.078	-534.717	-575.358	-617.072	-634.622
(+/-) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	14.390
(-) Depreciaciones	-12.762	-13.278	-13.821	-14.390	-14.390
(-) Pérdidas ejercicio anterior	0	0	0	0	0
(=) Utilidad antes de Impuesto	350.801	443.736	546.804	660.718	722.167
(-) Impuesto (27%)	-94.716	-119.809	-147.637	-178.394	-194.985
(=) Utilidad después de Impuesto	256.085	323.927	399.167	482.324	527.182
(+) Depreciaciones	12.762	13.278	13.821	14.390	14.390
(-/+) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-14.390
(+) Pérdida ejercicio anterior	0	0	0	0	0
(=) Flujo de caja Operacional	268.847	337.206	412.988	496.714	527.182
(-) Inversiones (CAPEX)	-7.379	-7.748	-8.136	-8.543	-
(-) IVA de la inversión	-1.402	-1.472	-1.546	-1.623	-
(+) Recuperación del IVA de la inversión	1.335	1.402	1.472	1.546	1.623
(+) Valor Residual de los activos	-	-	-	-	113.035
(-) Capital de trabajo	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del Capital de Trabajo	-	-	-	-	43.856
(=) Flujo de Capitales	-7.446	-7.819	-8.209	-8.620	158.514
Flujo de caja Neto	261.401	329.387	404.778	488.094	685.696
VAN ANUAL	132.434	148.998	163.483	176.012	220.776

Es importante destacar que los costos fijos no aumentaron y solo se ajustaron a la inflación y no (sueldos, arriendo y servicios de administración). Esto se sustenta en el hecho que el organigrama y el espacio propuesto puede encargarse de una planta de 26.000 *L* mensuales al noveno año.

De lo anterior se rescata que el proyecto en sí podría considerarse un buen punto de partida, pero es primordial aumentar la capacidad de la planta para lograr un negocio rentable en el tiempo.

Capítulo 12

Conclusiones

A partir de lo realizado, se concluye que se cumplieron todos los objetivos planteados al comienzo de este documento. Se desarrolló un proyecto a nivel de ingeniería conceptual con el fin de diseñar y evaluar la producción de 10.000 litros mensuales de cerveza con adiciones de fruta de descarte. Para esto se definieron los equipos y dimensiones para cumplir la base de diseño de 10.000 litros mensuales, junto con el diseño de una línea de producción de pulpa de fruta. Se elaboraron los respectivos balances de masa, por equipo principal y uno general, para finalmente hacer un análisis al proceso bajo criterios ambientales, productivos y económicos.

Con todo lo anterior, se obtiene que el proceso es viable en términos ambientales y productivos. Sin embargo, se tienen que introducir mejoras a la propuesta para optimizar los KPIs de estos criterios. Las ideas más prometedoras son implementar un sistema de reutilización de agua de limpieza e instalar paneles solares en el techo de la planta.

Por otro lado, los KPIs económicos son levemente negativos para el proyecto base. El supuesto más importante que afectó este análisis fue el hecho de que la producción no aumentó durante los 10 años de análisis. Para cualquier empresa es primordial crecer y se espera un crecimiento constante. Cuando se tomó en consideración un crecimiento leve anual (compra de un fermentador extra de 2000 *L* cada año), los indicadores cambiaron considerablemente y el proyecto pasó a ser rentable.

Sin perjuicio de lo anterior, el proyecto cumplió su objetivo fundamental de diseñar un proceso que permita obtener un producto de alto interés en la sociedad, como es la cerveza, pero con un cambio sustentable en sus insumos comparado a la industria tradicional al utilizar fruta de descarte en el proceso. Esto aparte de promover la economía circular, genera un valor agregado al producto. Se considera que el proyecto tiene potencial para ser llevado a cabo en la práctica siempre y cuando se le realicen modificaciones que permiten que sea un proyecto rentable y por lo tanto sea atractivo para inversionistas y se lleve a ejecución, para contribuir a enfrentar la crisis ambiental y permitir tener un futuro próspero para las generaciones venideras.

Explicado de manera simple, este proyecto es un buen punto de partida para la meta de la empresa de tener su propia planta pero se tiene que seguir mejorando y ampliando para poder que existan réditos económicos.

Bibliografía

- [1] “The history of beer.” <https://beerandbrewing.com/dictionary/UqfrcsPoAI/>, s. f. Craft Beer Brewing.
- [2] de oficinas económicas y comerciales de España en el exterior, R., “El consumo de cerveza en Chile continúa su trayectoria alcista.” <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/noticias/NEW2018800860.html?idPais=CL>, 2018.
- [3] Ventisqueros, R., “Cerveza artesanal: un mercado emergente en Chile.” <https://www.radioventisqueros.cl/index.php/2019/03/28/cerveza-artesanal-un-mercado-emergente-en-chile/>, 2019.
- [4] Boortmalt, “Production | boortmalt.” <https://web.archive.org/web/20161009000917/http://www.boortmalt.com/malt/production/>, s. f.
- [5] Palmer, J. J., How To Brew: Everything You Need to Know to Brew Great Beer Every Time. Brewers Publications, fourth ed., 2017.
- [6] Colby, C., “How long should you mash?.” <https://beerandwinejournal.com/mash-how-long/>, s. f.
- [7] Jackson, J., “The impact of mash temperature.” <http://www.backtoschoolbrewing.com/blog/2016/10/3/the-impact-of-mash-temperature>, 2016.
- [8] Beer, M., “60, 90, or otherwise: Finding the best boil times.” <https://www.morebeer.com/questions/212>, s. f.
- [9] GUEVARA PÉREZ, A., “Elaboración de pulpas, zumos, néctares, deshidratados, osmodeshidratados y fruta confitada,” 2015, <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata\%20Pulpas\%20n\%C3%A8ctares,\%20merm\%20d>.
- [10] Barrenechea León, F., Campos Güere, Y., Delgado Tincahuallpa, J., Jorge Huamali, C., y Ernesto Lujan Alva, C., “Elaboración y comercialización de pulpa de fruta congelada (thesis).” <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a31caca4-dc87-49c4-80df-d49339f9f051/content>, 2017. Retrieved July 2, 2022.
- [11] Holt, S., Miks, M. H., Carvalho, B. T. D., Foulquié-Moreno, M. R., y Thevelein, J. M., “The molecular biology of fruity and floral aromas in beer and other alcoholic beverages,” 2019, doi:10.1093/femsre/fuy041.
- [12] Costa, P. M. C. d., Almeida, I. L. M. L. d., Bianchini, A., Bianchini, M. d. G. A., Vassoler e Silva, R. E., y Rossignoli, P. A., “Blond ale craft beer production with addition of pineapple pulp,” Journal of Experimental Agriculture International, vol. 38, p. 1–5, 2019, doi:10.9734/jeai/2019/v38i230294.

- [13] Yang, Q., Tu, J., Chen, M., y Gong, X., “Discrimination of fruit beer based on fingerprints by static headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry,” *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, vol. 80, no. 3, pp. 298–304, 2022, [doi:10.1080/03610470.2021.1946654](https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1946654).
- [14] Baigts-Allende, D. K., Pérez-Alva, A., Ramírez-Rodrigues, M. A., Palacios, A., y Ramírez-Rodrigues, M. M., “A comparative study of polyphenolic and amino acid profiles of commercial fruit beers,” *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 100, p. 103921, 2021, [doi:https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103921](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103921).
- [15] “Mundo cervecero insumos y accesorios para cerveza artesanal,” <https://www.mundocervecero.com/>. Accedido: 24-08-2022.
- [16] Gasinski, A., Kawa-Rygielska, J., Szumny, A., Czubaszek, A., Gasior, J., y Pietrzak, W., “Volatile compounds content, physicochemical parameters, and antioxidant activity of beers with addition of mango fruit (*mangifera indica*),” *Molecules*, vol. 25, 2020, [doi:10.3390/molecules25133033](https://doi.org/10.3390/molecules25133033).
- [17] Ucañay Pisfil, K. A., “Estudio fisicoquímico y organoléptico de una cerveza artesanal con zumo de maracuyá (*passiflora edulis*) tipo ale,” 2021, <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9465>.
- [18] Santos, D., Bilac, C., Barbosa, T., y Orsi, D., “Physicochemical characterization of craft beers produced with passion fruit (*passiflora edulis sims*),” *Journal of Experimental Agriculture International*, pp. 16–23, 2022, [doi:10.9734/jeai/2022/v44i230794](https://doi.org/10.9734/jeai/2022/v44i230794).
- [19] Janzantti, N. S. y Monteiro, M., “Hs-gc-ms-o analysis and sensory acceptance of passion fruit during maturation,” 2017, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5502024/#:~:text=The%20esters%20ethyl%20butanoate%2C%20hexyl,floral%20and%20fruity%20aroma%2C%20the>.
- [20] Álvaro Asensio Ricor, “Diseño de un macerador e instalaciones complementarias en una fábrica de cerveza,” 2019, <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/38282/TFG-I-1404.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [21] MBAA, “Mbaa safety toolbox talk,” https://www.mbaa.com/brewresources/brewsafety/BrewSafety/BoilOver_Safety.pdf.
- [22] Urs, S., “Cálculo de necesidades térmicas y de vapor para industria cervecera,” <http://www.lanacion.com.ar/2038808-el-mundo-de-la-cerveza-artesanal>.
- [23] “Water - properties vs. temperature and pressure,” https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1258.html.
- [24] “Heat exchanger - department of chemical engineering,” <http://ww2.che.ufl.edu/ren/unit-ops-lab/ech4224L/HE/HE-theory.pdf>.
- [25] Duncan, “Empowering dry yeast with simple rehydration,” 2023, <https://www.homebrewersassociation.org/how-to-brew/rehydrating-dry-yeast/>.
- [26] “Brewery setup blog,” https://www.craftbreweryequipment.com/News_Blog/Beer_Brewing_Tech/Size_Matters__How_Much_Headspace_Do_You_Need_in_a_Fermenter__1844.html.
- [27] Akram, M. E., Khan, M. A., Khan, M. U., Amin, U., Haris, M., Mahmud, M. S., Zahid, A., Pateiro, M., y Lorenzo, J. M., “Development, fabrication and performance evaluation

- of mango pulp extractor for cottage industry,” *AgriEngineering*, vol. 3, pp. 827–839, 2021, doi:10.3390/agriengineering3040052.
- [28] “Integral valorization of pineapple (ananas comosus l.) by-products through a green chemistry approach towards added value ingredients.”, https://www.researchgate.net/figure/Flow-chart-of-the-biomass-balance-of-pineapple-by-products-stems-and-peels-according-to_fig1_338431952.
- [29] “Passion fruit by-product: Process design of pectin production.”, https://www.granthaalayahpublication.org/journals-html-galley/07_IJRG20_B10_3790.html.
- [30] “Mix temperatures calculator.” <https://rechneronline.de/chemie-rechner/mix-temperaturen.php>.
- [31] Ashby, M. F. y Johnson, K., *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 3rd ed., 2012.
- [32] Chillers, A., “How to size a brewery chiller.” <https://amchiller.com/size-brewery-chiller/>, 2023. [Online; accessed 26-Jan-2023].
- [33] “Thermodynamics tables and charts.”, <https://engineering.wayne.edu/mechanical/pdfs/thermodynamic-tables-updated.pdf>.