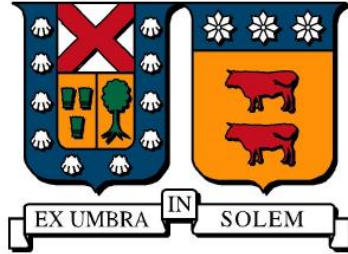


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO - CHILE



“DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA REDUCCIÓN
DE TIEMPO Y ESPACIO EN LA ELABORACIÓN
DE CERVEZA ARTESANAL”

DAVID MARCELO RAMOS FUENTES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DANILO ESTAY

PROFESOR CO-REFERENTE: SHEILA LAZCANO

SEPTIEMBRE– 2018

*“A mi familia y
amigos, que me han
acompañado durante
este largo camino.”*

Agradecimientos

Agradezco a mi madre por su ayuda incondicional, su energía positiva, la formación que me entregó como persona y la posibilidad que me dio de ser lo que ahora soy. Sin ella no hubiera llegado a donde estoy ahora.

Agradezco a mi padre por comenzar juntos este proyecto, por ayudarme, incentivarme, emprender juntos como padre e hijo y por los valores que me ha entregado durante toda mi vida, sin duda el mejor padre del mundo.

Agradezco a mis amigos de la universidad, por siempre acompañarme en mis locuras, en mis proyectos, en las fiestas, en las penas, en las alegrías. Sin duda formaron y forman parte importante de mi vida.

Agradezco a mi profesor guía Danilo Estay y a todos los docentes de la universidad, por su tiempo y dedicación en la enseñanza, en mi formación como alumno y futuramente como profesional.

Resumen

La finalidad de este trabajo es diseñar un equipo para la elaboración de cerveza artesanal y reducir el espacio físico y el tiempo empleado en este procedimiento.

En un principio se explica detalladamente en qué consiste el proceso tradicional de elaboración de cerveza artesanal. En esto, se hace énfasis en las distintas etapas en las que se divide y en las funciones de los equipos más importantes, identificando los elementos que podrían ser reemplazados o directamente eliminados. Dentro de estas etapas, las de mayor impacto son las de maceración, cocción y enfriamiento.

Este cambio no busca alterar la naturaleza tradicional de este procedimiento, pero sí reducir los costos, equipos, tiempos, espacios, insumos y materias primas que se utilizan en el proceso.

Luego, se crean 2 alternativas de rediseño que cumplan con los objetivos planteados y se decide cuál es el que mejor satisface las necesidades del cliente.

Con la mejor alternativa seleccionada, se modifica el proceso tradicional de elaboración de cerveza artesanal, para que así, se pueda utilizar con el nuevo diseño del equipo cervecero. Para esto es necesario combinar ciertas características de cada etapa.

Con un proceso acotado, se procede a diseñar el equipo para la elaboración de cerveza artesanal con la ayuda de software de tipo CAD.

Finalmente, junto al diseño del equipo, se implementaron mejoras y tecnologías que ayudan a cumplir lo descrito inicialmente en este resumen. Dentro de estas mejoras y tecnologías se encuentran reguladores de temperatura, válvulas de cierres, intercambiadores de calor y una bomba.

Abstract

The purpose of this memoir is to design a brewing artisan beer equipment, that reduced physical space and time progress.

At first, it explains in what traditional brewing process artisan beer consist. In this, emphasis is placed beetwen the different stages and the principal function of most important equipment, identifying the elements that could be replaced or erased. Within these stages, the most important are mashing, boiling and cooling.

These changes dont seek the alteration of the natural and traditional process, but to reduce costs, equipments, times, spaces, inputs and prime material used.

Then, it's created two alternative redesign, that fulfill the initial objetives where it's decided which one satisfy the client needs.

With the best alternative selected, it's modified the artisan beer elaboration, so that in that way, it's can use with the new design of beer equip. For this, is necesary to combine some characteristics of each stages.

With this new process, it proceed to design the equip for artisan beer elaboration using the CAD software.

Finally, next to design of equipment, is implemented improvements and technologys that will help to fullfill what is described previously. Inside of the improvements and technologys it was temperature controller, closing valves, heat exchanger and one bomb.

Glosario

Almidón: Sustancia blanca, inodora, insípida, granulada o en polvo, que abunda en otras feculentas, como la papa o los cereales; se emplea en la industria alimentaria, textil y papelería.

Amilasa: Enzima que produce la hidrólisis de los glúcidos.

Carbohidrato: Sustancia orgánica sólida, blanca y soluble en agua, que constituye las reservas energéticas de las células animales y vegetales; está compuesta por un número determinado de átomos de carbono, un número determinado de átomos de oxígeno y el doble de átomos de hidrógeno.

Cerveza artesanal: Cerveza elaborada con 100 % malta, sin aditivos artificiales y carbonatados naturalmente.

Cerveza: Bebida alcohólica no destilada obtenida por fermentación de cebadas malteadas.

Clarificación: Proceso en el cual se eliminan partículas en suspensión de un líquido mediante métodos como filtrados, centrifugados, floculados, etc.

Cuerpo: Sensación de viscosidad, densidad y ligereza que produce la cerveza en boca.

Densidad: En física y química, la densidad representa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Dextrina: Sustancia soluble en agua que se obtiene del almidón. No es fermentable.

Enzima: Proteína soluble producida por las células del organismo, que favorece y regula las reacciones químicas en los seres vivos. Las enzimas están compuestas principalmente por proteínas; las enzimas se unen a uno de los componentes de la reacción (sustrato) y lo modifican para facilitar su reacción.

Esterilizar: Destruir los gérmenes que pueden provocar una infección.

Etanol: Líquido incoloro, de olor fuerte e inflamable que se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas o feculentas, como la uva, la melaza, la remolacha o la papa, forma parte de numerosas bebidas (vino, aguardiente, cerveza, etc.) y se emplea principalmente como desinfectante.

Fermentación: Proceso químico en el cual se forman alcoholes a partir de azúcares (carbohidratos) mediante los fermentos.

Floculación: Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Glucosa: Azúcar que se encuentra en la miel, la fruta y la sangre de los animales.

Levadura: Hongo unicelular que produce enzimas capaces de provocar la fermentación alcohólica de los hidratos de carbono.

Lúpulo: Planta trepadora de tallo áspero, largo y nudoso, en forma de piña globosa que se utiliza para añadir sabor, aroma y amargor a la cerveza.

Maceración: Ablandamiento de una sustancia sólida sumergiéndola en un líquido.

Malta: Cebada germinada, desecada y tostada levemente que se emplea en la elaboración de cerveza.

Maltosa: Azúcar vegetal y animal, compuesto por dos moléculas de glucosa, que se encuentra en el almidón y el glucógeno.

Maltotriosa: Es un glúcido, en particular un oligosacárido, formando por tres moléculas de glucosa. Se extrae principalmente de los azúcares de la malta en su descomposición por medio de la fermentación por levadura.

Metabolito: Es cualquier sustancia producida durante el metabolismo (digestión u otros procesos químicos corporales). El término metabolito también se puede referir al producto que queda después de la descomposición (metabolismo) de un fármaco por parte del cuerpo.

Microorganismo: Organismo microscópico animal o vegetal que solo puede ser observado mediante microscopio.

Mosto: Mezcla que se obtiene al tratar la malta molida con agua caliente.

Parásito: Organismo que se alimenta de las sustancias que elabora un ser vivo de distinta especie, viviendo en su interior o sobre su superficie, con lo que suele causarle algún daño o enfermedad.

PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. PH 7 se considera neutro.

Proteína: Sustancia química que forma parte de la estructura de las membranas celulares y es el constituyente esencial de las células vivas.

THC: El tetrahidrocannabinol (THC), también conocido como delta-9-tetrahidrocannabinol ($\Delta^9 - THC$), es el principal constituyente psicoactivo del cannabis.

Válvula: Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina, aparato o circuito, gracias a un mecanismo, a diferencias de presión, etc.

Índice de Contenidos

Agradecimientos	IV
Resumen	V
Abstract.....	VI
Glosario.....	VII
Índice de Contenidos.....	X
Índice de Figuras.....	XIII
Índice de Tablas	XV
1 Capítulo 1: Introducción	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Objetivos	7
1.2.1 General	7
1.2.2 Específicos.....	7
2 Capítulo 2: Marco Teórico	8
2.1 Descripción del Problema.....	8
2.2 Reseña histórica.....	9
2.3 Estado del Arte	10
2.4 Proceso tradicional de fabricación de cerveza artesanal.	11
2.4.1 Preparación.....	11
2.4.2 Maceración	17
2.4.3 Recirculación.....	18
2.4.4 Lavado del grano	19
2.4.5 Cocción del mosto	19
2.4.6 Decantado	20
2.4.7 Enfriado.....	21
2.4.8 Fermentación	21
3 Capítulo 3: Necesidades del cliente y alternativas de rediseño.....	23
3.1 Necesidades del cliente.....	23
3.1.1 Atributos.....	23
3.1.2 Objetivos, funciones y restricciones	24
3.1.3 Apariencia, seguridad, costo y desempeño.	25
3.2 Carta morfológica.....	26

3.3	Generación y selección de alternativas.	27
3.3.1	Alternativa base: proceso tradicional	29
3.3.2	Alternativa 1: minimización de los costos	30
3.3.3	Alternativa 2: Minimización del tiempo	31
3.3.4	Selección de alternativa	33
3.4	Nuevo proceso de elaboración de cerveza.	34
3.4.1	Preparación	34
3.4.2	Maceración/Recirculación/Lavado	34
3.4.3	Cocción.....	35
3.4.4	Decantado	35
3.4.5	Enfriado.....	35
3.4.6	Fermentación	36
3.5	Riesgos	36
4	Capítulo 4: Diseño del equipo único de fabricación de cerveza.	37
4.1	Diseño de las partes del modelo.	37
4.1.1	Estructura.....	38
4.1.2	Olla principal	40
4.1.3	Olla secundaria	41
4.2	Implementación de mejoras a los procesos.	42
4.2.1	Serpentín eléctrico	42
4.2.2	Regulador de temperatura	44
4.2.3	Bomba centrífuga grado alimenticio	46
4.2.4	Enfriador de placas	48
4.2.5	Sistema de válvulas	49
4.3	Resultado final del diseño y explicación del proceso.....	54
4.3.1	Preparación	55
4.3.2	Maceración/Recirculación/Lavado	56
4.3.3	Cocción.....	59
4.3.4	Decantado	59
4.3.5	Enfriado.....	59
4.3.6	Fermentación	60
5	Capítulo 5: Conclusiones	61
	Anexos.....	64

A.	Anexo A. Enzimas creadas por la cebada en la etapa de maceración.....	65
B.	Anexo B. Pesos relativos y absolutos entre subcategorías de los objetivos de los atributos de las necesidades del cliente.	66
C.	Anexo C. Matriz de decisión de alternativas de rediseño.....	68
D.	Anexo D. Cotización de equipos y herramientas.	69
E.	Anexo E. Tiempos de procesos.....	72
F.	Anexo F. Cálculo de la bomba centrífuga.....	73
G.	Anexo G. Cálculo de conclusiones cuantitativas.	77
H.	Anexo H. Medidas generales del modelo.	78
6	Referencias.....	82

Índice de Figuras

Figura 3.1. Disposición tradicional de elaboración de cerveza artesanal. Maceración.	27
Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso tradicional de cerveza.	29
Figura 3.3. Diagrama de flujo modificado para el proceso tradicional de cerveza correspondiente a la alternativa 1.	30
Figura 3.4. Diagrama de flujo modificado para el proceso tradicional de cerveza correspondiente a la alternativa 2.	32
Figura 4.1. Diseño de la estructura base.	38
Figura 4.2. Ruedas de acero inoxidable AISI 304 marca Rodani. a) Rueda giratoria con pasador. b) Rueda giratoria con pasador y freno.	39
Figura 4.3. Diseño de la olla principal. a) Vista superior y vástago central, b) Vista inferior.	40
Figura 4.4. Diseño de la olla secundaria. a) Corte transversal de la olla secundaria al interior de la olla principal, centrada mediante un vástago, b) Filtro superior, c) Filtro inferior.	41
Figura 4.5. Diseño del serpentín eléctrico.	43
Figura 4.6. Resistencias eléctricas tubulares fabricadas por Fabrestel S.A.	43
Figura 4.7. Regulador de temperatura marca RKC modelo Rex-C400 conectado al equipo.	44
Figura 4.8. Esquema eléctrico del regulador de temperatura.	45
Figura 4.9. Bomba marca Chugger Pump modelo CPSS-IN-1.	46
Figura 4.10. Enfriador de placas Wort Chiller P30 del sistema de válvulas.	48
Figura 4.11. Esquema del circuito hidráulico del sistema de válvulas. Se muestran las válvulas de cierre con sus respectivos nombres y porcentajes de abertura.	50
Figura 4.12. Diseño del sistema de válvulas.	50
Figura 4.13. Esquema del sistema de válvulas para la opción de maceración.	51
Figura 4.14. Esquema del sistema de válvulas para la opción de enfriamiento.	52
Figura 4.15. Esquema del sistema de válvulas para la opción de vaciado.	52

Figura 4.16. Diseño final del equipo cervecero. a) Vista isométrica del diseño. Se muestran las ollas principal y secundaria (con un corte transversal) y el sistema de válvulas. b) Vista frontal del diseño. Se muestran los demás elementos de la estructura.	54
Figura 4.17. Vista superior del calentamiento del agua en la etapa de preparación. a) Representación gráfica del equipo con agua. b) Representación gráfica del equipo sin agua.	55
Figura 4.18. Vista en corte de la etapa de maceración. a) Representación gráfica de la cebada al interior de la olla secundaria. b) Tuerca de seguridad del filtro superior de la olla secundaria y vástago central.	56
Figura 4.19. Ajuste de la olla secundaria sobre la olla principal. Se omite la visibilidad del agua y la cebada.	57
Figura 4.20. Configuración del sistema de válvulas para la opción de maceración. Se muestran nombres y porcentajes de abertura de cada válvula de cierre.	57
Figura 4.21. Circulación del líquido a través de las ollas. a) Vista frontal de la dirección del flujo. b) Vista superior de la entrada y salida del flujo.	58
Figura 4.22. Configuración del sistema de válvulas para la opción de enfriamiento. Se muestran los nombres y porcentajes de abertura de cada válvula de cierre.	59
Figura 4.23. Configuración del sistema de válvulas para la opción de vaciado. Se muestran los nombres y porcentajes de abertura de cada válvula de cierre.	60
Figura H.1. Plano general de la estructura.	78
Figura H.2. Plano general de la estructura base.	79
Figura H.3. Plano general de la olla principal.	80
Figura H.4. Plano general de la olla secundaria.	81

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Dureza del agua según concentración de carbonato de calcio [4].	13
Tabla 2.2. Gramos de azúcar por litro de cerveza en la gasificación.	22
Tabla 3.1. Lista de atributos distribuidos en objetivos, funciones y restricciones.	24
Tabla 3.2. Distribución de los objetivos en apariencia, seguridad, costos y desempeño.	25
Tabla 3.3. Alternativas de diseño para cada criterio.	26
Tabla 3.4. Características, costos y tiempos totales de cada alternativa.	33
Tabla 4.1. Componentes del sistema de válvulas.	49
Tabla A.1. Enzimas creadas en la etapa de maceración.	65
Tabla B.1. Cálculo de pesos absolutos entre subcategorías de objetivos.	66
Tabla B.2. Cálculo de pesos en la apariencia.	66
Tabla B.3. Cálculo de pesos en la seguridad.	66
Tabla B.4. Cálculo de pesos en los costos.	66
Tabla B.5. Cálculo de pesos en el desempeño.	67
Tabla C.1. Matriz de decisión de las alternativas de rediseño. Escala de 1 a 9.	68
Tabla D.1. Cotización preliminar de los equipos y herramientas utilizados en la fabricación de cerveza artesanal para las alternativas de rediseño.	69
Tabla D.2. Cotización de equipos y tecnologías para el resultado final del diseño.	71
Tabla E.1. Tiempos aproximados de cada proceso de la elaboración de cerveza artesanal.	72
Tabla F.1. Rugosidad ϵ equivalente en distintos materiales.	75

1 Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes

El proyecto que enmarca este trabajo es el desarrollo del diseño de un equipo destinado a la elaboración de cerveza artesanal. Este diseño busca reducir el tiempo y espacio utilizado en las distintas etapas que ocurren en la elaboración de cerveza, y al mismo tiempo implementar mejoras como nuevas tecnologías e instrumentos de medición para una elaboración más fácil de la cerveza.

Este proyecto nació de la necesidad de trabajar en un lugar adecuado, cómodo, poco espacioso y de una manera más rápida, con el fin de que el trabajador pueda realizar el proceso de elaboración de cerveza con el mínimo esfuerzo y en el menor tiempo posible, sin alterar las propiedades y características de la cerveza artesanal.

El diseño final logrará impactar directamente en la manera en cómo se elabora la cerveza artesanal, sin perder sus matices y su naturaleza, pero disminuyendo espacios, tiempos y equipos necesarios, el cual estará a disposición del público en general que quiera adentrarse en el mundo de la cerveza.

Se hará uso de un software de modelamiento asistido por computador (CAD) que ayuda a la ejecución de todo el plan de trabajo. Esta es la principal herramienta de diseño que se usará para la creación de un equipo único de fabricación de cerveza artesanal.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Desarrollar el diseño de un equipo para reducir tiempo, espacio y equipos utilizados en el proceso de elaboración de cerveza artesanal.

1.2.2 Específicos

- Identificar, evaluar y reducir las posibles etapas y/o equipos dentro del proceso general de elaboración de cerveza artesanal que son poco eficientes o innecesarios.
- Modificar el proceso de elaboración de cerveza artesanal para que incluya las mejoras descritas anteriormente.
- Desarrollar el diseño de un equipo que utilice el proceso modificado anteriormente y que permita reducir el costo, el espacio utilizado y el tiempo empleado en la elaboración de cerveza artesanal.
- Añadir instrumentos y/o tecnologías que ayuden a realizar un proceso más exacto y preciso.

2 Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Descripción del Problema

Durante la última década, las personas están cada vez más decididas a tomar riesgos y desarrollar emprendimientos de manera personal. Particularmente, la industria cervecera ha tenido un gran auge, en donde las personas tienen cada vez más acceso a la realización de cursos y talleres para la elaboración de cerveza artesanal.

Si bien estos cursos/talleres no suelen tener costos elevados, el proceso en sí no es muy eficiente e incurre en la utilización de muchos recursos, espacio, tiempo y suelen ser más caros que el mismo curso.

El primer problema que se presenta en la elaboración de cerveza artesanal, es el uso de los recursos (principalmente el agua). Esta, si bien es necesaria e imprescindible para la elaboración de cerveza, se utiliza de forma indiscriminada e inconsciente (principalmente en el proceso de enfriamiento).

El segundo problema que se presenta, es la cantidad de equipos necesarios para el proceso de elaboración de cerveza. Estos equipos generalmente tienen un costo asequible para el usuario, pero al necesitar muchos, y esto sumado a las herramientas y estructuras secundarias, ocasionan costos generales muy altos.

El tercer problema es el uso del espacio. Como la elaboración de cerveza artesanal requiere una cantidad definida de equipos, insumos, recursos y herramientas, se necesita un lugar espacioso para la ubicación del proceso, principalmente por culpa de equipos que como se dijo anteriormente, pueden ser reemplazados.

Y el último y no menos importante, es la cantidad de tiempo necesario para realizar el proceso de elaboración de cerveza. Si bien los tiempos para cada etapa están estandarizados y la mayoría no se pueden alterar, existen tiempos muertos que sí pueden ser reducidos drásticamente, como el transcurso de una etapa a otra, la medición de parámetros, el enfriamiento de la cerveza, etc.

2.2 Reseña histórica

Se sabe que antiguamente mientras los hombres se esforzaban en cazar los animales salvajes y llevar la carne necesaria para la supervivencia, eran las mujeres las encargadas de recolectar los cereales y frutos pequeños. Estos cereales eran almacenados junto con la carne recolectada, momento de la historia en donde el ser humano pasó de la vida nómada a la sedentaria [1].

“Es probable que la primera «cerveza» naciera en el fondo de un recipiente lleno de grano mal almacenado, al que, por casualidad, llegó un poco de agua que lo maceró y dio vida a la magia...” (Simone Pilla & Genny Vince).

El nombre de la cerveza proviene del latín “*Cervēsīa*” según el filólogo y etimólogo Joan Corominas [2].

No pasó mucho tiempo para que la cerveza se convirtiera en una de las bebidas más importantes de la dieta humana debido a su gran aporte calórico, la cual era un perfecto sustituto del pan debido a su fácil elaboración y conservación. En ese entonces no se conocía el proceso de fermentación y mucho menos los efectos embriagadores del alcohol.

Distintas civilizaciones a lo largo de la historia han recurrido a este brebaje ancestral. Algunos historiadores creen que la cerveza ya existía en Mesopotamia y Siberia por los años 10.000 AC. Los chinos también elaboraban su propia cerveza llamada KIU, en donde se utilizaba cebada, trigo, espelta, mijo y arroz. Las civilizaciones precolombinas tenían sus propias recetas, en donde utilizaban maíz en vez de cebada [3]. El rey Hammurabi de Babilonia dispuso de decretos sobre la fabricación de la cerveza y su veneración a la diosa de la cerveza, Ninkasi. En los países nórdicos se ofrecían cerveza a los dioses Wotan y Thor, creador y protector de la cerveza respectivamente [2].

Sin duda uno de los lugares en donde más se marcó la elaboración de cerveza fue en el antiguo Egipto. Esta bebida era tan venerada que se utilizaba como medicina, alimento, medio de pago y ofrendas sagradas al dios creador de todo, Osiris. Esta civilización fue la primera en inmortalizar el proceso de elaboración de la cerveza, muy parecido al que se conoce hoy en día [3].

2.3 Estado del Arte

Nacionalmente no existen diseños o prototipos oficiales que se asemejen a lo establecido como objetivo en la memoria.

Internacionalmente se encuentran diseños de estructuras que siguen el orden tradicional de elaboración de cerveza. Los autores Merelo Espinar G. R. & Zúñiga Tapia J. G. describen en su trabajo de tesis “*Diseño y construcción de un equipo con adaptación de tecnología para elaboración de cerveza artesanal*” el proceso tradicional de elaboración de cerveza añadiendo tecnologías (instrumentos y mejoras al proceso) para hacerlo más eficiente, preciso y exacto [3].

Estos autores, mencionan que en un principio se planeó construir la estructura que soporta a los equipos de acero inoxidable, pero que optaron por otros materiales más económicos y tomando todas las medidas necesarias para no alterar la calidad de la cerveza.

Al equipo se le integró un regulador de temperatura, el cual regula automáticamente la temperatura deseada, teniendo así un mayor control en la etapa de maceración, la cual es una de las más importantes.

Por otro lado, se realizaron pruebas en blanco al equipo de calentamiento y enfriamiento para obtener resultados cuantitativos.

Con este equipo, se fabricaron tres cervezas distintas, a las cuales se les realizaron pruebas de laboratorios para determinar sus propiedades físico – químicas y microbiológicas.

Este trabajo es un gran acercamiento y ayuda a lo que se quiere lograr en este trabajo de memoria.

2.4 Proceso tradicional de fabricación de cerveza artesanal.

Para poder realizar las mejoras al proceso de elaboración de cerveza artesanal, primero se debe explicar cómo es que esta se fabrica. Un proceso de elaboración típico de cerveza artesanal [4] consta de 8 etapas:

- Preparación
- Maceración
- Recirculación
- Lavado del grano
- Cocción del mosto
- Decantado
- Enfriado
- Fermentación

2.4.1 Preparación

Lo primero en realizar para una correcta elaboración de cerveza artesanal es preparar las materias primas que se utilizarán durante todo el proceso de elaboración. Estas son:

1. La levadura
2. El agua
3. La cebada malteada
4. Los lúpulos

Adicionalmente, se puede usar otros tipos de materias primas complementarias como trigo, arroz, avena, etc. las cuales entregan características especiales, pero no indispensables a la cerveza.

1. La levadura

Es levadura [3] es cualquier tipo de hongo microscópico unicelular que tenga la capacidad de descomponer otros cuerpos orgánicos mediante fermentación.

Es de vital importancia recalcar que existen dos tipos de levaduras que son las más utilizadas y que clasifican a las cervezas en dos grandes grupos, las levaduras tipo Ale y las levaduras tipo Lager [4].

Levadura Ale: estas levaduras tienden a realizar su trabajo de fermentación en la parte alta del fermentador, a una temperatura óptima de $18^{\circ} - 24^{\circ} [C]$.

Levadura Lager: estas levaduras tienden a realizar su trabajo de fermentación en la parte baja o al fondo del fermentador, a una temperatura ideal de $11^{\circ} - 15^{\circ} [C]$.

Es importante que las levaduras cumplan ciertas características para una óptima elaboración de cerveza:

- Genéticamente estable: poder trabajar durante intervalos continuos de tiempo sin degradarse.
- Buena capacidad de fermentación: ser capaz de producir niveles de etanol entre un rango de 4-12 % en periodos aceptables de tiempo de fermentación y libre de cantidades de metabolitos indeseables que puedan producir sabores azufrados o fenólicos.
- Fácilmente removibles del proceso de fermentación: ya sea mediante floculación o centrifugado.

2. El agua

El agua [4] cumple un rol fundamental en la elaboración de cerveza artesanal, ya que corresponde prácticamente a la totalidad del resultado de la cerveza. Se debe prestar atención a ciertas características:

Presencia de cloro: el exceso de cloro puede alterar la calidad final de la cerveza y depende de su fuente de origen. Dos maneras simples de quitar el exceso de cloro son usar un filtro de carbón activado o dejar la olla con agua expuesta a la luz solar durante cierto periodo (generalmente 3 a 4 horas) para que el cloro se descomponga mediante la luz UV.

Dureza: como su nombre lo indica, existen aguas blandas y aguas duras en función de la concentración de sales que esta posee (particularmente carbonato de calcio, $CaCO_3$). De acuerdo a esta concentración el agua se puede clasificar en distintos niveles (*Tabla 2.1*).

Tabla 2.1. Dureza del agua según concentración de carbonato de calcio [4].

Nivel de dureza	Concentración de $CaCO_3$ (ppm)
Blanda	0 – 60
Semidura	60 – 120
Dura	120 – 180
Muy dura	> 180

Una medida estándar para la elaboración de cerveza varía entre los 30-300 ppm de concentración de carbonato de calcio, siendo común el uso de aguas blandas para levaduras tipo Lager y aguas duras o muy duras para tipo Ale.

Particularmente en la ciudad de Santiago de Chile la dureza del agua potable varía entre los 170-200 ppm de concentración de carbonato de calcio.

En ningún caso se debe utilizar agua desmineralizada, ya que es necesaria la presencia de ciertos minerales (entre ellos magnesio, calcio, potasio, manganeso y $CaCO_3$) para que el lúpulo cumpla sus funciones.

PH: la cerveza artesanal se elabora utilizando principalmente agua con un PH entre 5,2 y 5,8 debido a las enzimas que se pueden crear en la etapa de maceración (

Anexo A. Enzimas creadas por la cebada en la etapa de maceración.).

El agua potable de la ciudad de Santiago de Chile tiene aproximadamente un PH de 7 (neutro). A pesar de que un PH neutro no sería el indicado, no se estaría cometiendo ningún error en utilizar directamente esta agua, ya que al utilizar cebadas malteadas se disminuye la acidez natural del agua potable a valores cercanos de PH 6.

Los valores de dureza y PH son valores recomendados y estándar, pero no son determinantes como lo son la levadura, los lúpulos y la malta.

Dentro de la preparación del agua está el calentamiento inicial de esta para su posterior uso en la etapa de maceración.

3. La cebada malteada

La cebada [3] es un cereal de gran importancia para animales y humanos debido a su rico valor nutricional. Existen otros tipos de granos (como maíz, trigo, sorgo, etc.) que también pueden ser malteados, pero siendo la cebada el más óptimo para la elaboración de cerveza.

Para elaborar cerveza artesanal, se deben cumplir ciertos estándares en cuanto a la calidad y composición del grano utilizado:

- Deben estar libre de insectos, hongos y otros parásitos.
- Debe tener una humedad inferior a 13%.
- Debe tener un 3 % o menos de impurezas.
- Debe tener un tamaño adecuado para el uso (mínimo 2,5 mm).

De esta forma, el grano de cebada se puede maltear, logrando así una infinidad de variedades en cuanto a color, aroma y sabor.

La malta (o cebada malteada) cumple un rol muy importante en la elaboración de cerveza artesanal, ya que es la encargada de entregar las enzimas necesarias para el correcto fermentado del producto.

Durante el macerado, se crean una variedad de enzimas [4] al interior del grano de la cebada, los que más tarde darán paso a los azúcares necesarios para la fermentación de la cerveza y provocando así la creación de un líquido dulce al finalizar la maceración. Las enzimas que interesan controlar durante el proceso de elaboración de cerveza son dos: las enzimas proteolíticas y las enzimas diastáticas (

Anexo A. Enzimas creadas por la cebada en la etapa de maceración.).

Enzimas proteolíticas: estas enzimas tienen como función degradar las proteínas en cadenas más simples de aminoácidos que benefician la elaboración de cerveza. Se pueden clasificar en dos grupos: las proteasas y las peptidasas.

- Las proteasas degradan las moléculas de proteínas más grandes en cadenas más simples de aminoácidos, fomentando la retención de espuma en la cerveza y disminuyendo la turbidez.
- Las peptidasas liberan aminoácidos libres de los extremos de las moléculas de proteínas más grandes, sirviendo de alimento para las levaduras.

En general, estas enzimas actúan entre los 30° y los 57° [C].

Enzimas diastáticas: estas enzimas tienen como función degradar el almidón en azúcares fermentables y dextrinas no fermentables. Dentro de este grupo de enzimas, existen dos indispensables para la elaboración de cerveza: la beta-amilasa y la alfa-amilasa. Estas, trabajan en conjunto durante el macerado para la creación de azúcares y dextrinas en distintas medidas dependiendo de la temperatura de maceración.

- La alfa-amilasa corta las moléculas de almidón en trozos de tamaños aleatorios sobre los que puede actuar la beta-amilasa. Mientras que no actúe la beta-amilasa, estas proteínas no son fermentables y reciben el nombre de dextrinas. Esta enzima actúa en un rango de temperatura de 63°-70° [C] y entrega a la cerveza mayor cuerpo, mayor sensación en la boca, pero a costa de un menor grado alcohólico.
- La beta-amilasa degrada el almidón y las dextrinas en azúcares fermentables (glucosa, maltosa y maltotriosa). El rango de temperatura en que actúa esta enzima está entre los 54° y los 68° [C] y entrega a la cerveza una mayor sequedad y grado alcohólico.

Es importante entender que, aunque cada una tenga un rango de temperatura óptimo, las dos funcionarán simultáneamente en un rango amplio de temperaturas (63° a 68° [C]).

En líneas generales, si se quiere obtener una cerveza con más cuerpo, pero con menor grado alcohólico, se debe realizar un macerado inclinándose por altas temperaturas (70° [C]), en cambio si se quiere obtener una cerveza más seca y con mayor grado alcohólico se debe

inclinan por menores temperaturas de macerado (63° [C]). Como recomendación se suele trabajar en un punto medio de equilibrio de 67 ° [C] entre las dos enzimas.

4. Los lúpulos

Los lúpulos [3] provienen de una planta del género humulus, de la misma familia que el cannabis, pero sin la presencia del psicoactivo tetrahidrocannabinol (THC). El lúpulo es básicamente la flor femenina de la planta, y que al igual que la levadura, el agua y la cebada constituye una de las materias primas insustituibles de la cerveza.

Las principales funciones del lúpulo son:

- Entrega amargor, adicionando sabor y aroma en menor medida.
- Precipita las proteínas, lo que actúa como clarificante.
- Favorece la formación de espuma.
- Favorece la durabilidad y conservación de la cerveza.

En la actualidad, se suele separar el lúpulo en tres grandes grupos, los aportan principalmente amargor a la cerveza, los que aportan exclusivamente aroma y un último grupo que es un equilibrio entre ambos [4].

Lúpulos amargos: estos lúpulos aportan gran cantidad de amargor a las cervezas artesanales. Suelen entregar también aromas frutales en menor medida.

Lúpulos aromáticos: análogamente estos lúpulos entregan aromas más fuertes a la cerveza y un toque de amargor en menor grado que su contraparte.

Lúpulos mixtos: estos lúpulos aportan amargor y aromas de una manera más equilibrada. No se suelen utilizar ya que no se acentúan las características que se quieren lograr en una determinada cerveza.

Los lúpulos son generalmente muy delicados y se deben acondicionar adecuadamente para su preservación en el tiempo. Se suele obtener estos lúpulos en forma de pellets comprimidos de flores de lúpulos trituradas. Estos pellets al estar comprimidos, se oxidan menos que si se usaran directamente de las flores, son más manejables y tienen mayor durabilidad.

La primera manera que se utilizó para cuantificar el nivel de amargor [3] que entregaba un lúpulo, fue el alpha acid units (AAU), el cual medía la cantidad de ácidos alfas presentes en el lúpulo (los cuales son los principales encargados de entregar amargor). Esta medida no consideraba el tiempo de cocción, la densidad y PH del mosto, la edad y condiciones del lúpulo, el tipo de presentación, etc. por lo que se definió el international bittering units (IBU).

El IBU es una medida de los ácidos alfa isomerizados en la cerveza acabada, y aunque está más cerca que su antecesor AAU en la medición del amargor de una cerveza, sigue siendo una medida con un margen de error considerable.

En la actualidad el IBU se calcula utilizando una fórmula matemática, la que entrega un aproximado expresado en ppm del amargor de una cerveza. El IBU también se podría medir físicamente mediante espectrometría, lo cual no se suele dar en la práctica ya que la inversión para realizar esta medición no se justifica.

2.4.2 Maceración

El macerado (o mash en inglés) [4] es la primera etapa del proceso de elaboración de cerveza artesanal y consiste en mezclar el grano molido con el agua, manteniéndola en reposo a cierta temperatura con el fin de extraer los azúcares fermentables de la cebada malteada. Esta combinación agua/malta se suele llamar mosto.

Normalmente se utilizan dos litros de agua por cada litro de cerveza que se desea elaborar. La manera tradicional que se suele utilizar para este proceso, es dividir este volumen de agua en dos, una parte para el macerado y otra para el lavado.

Existen dos métodos de maceración:

Maceración simple: se mezcla el agua con la malta a una temperatura recomendada promedio de 67° [C] y se deja reposar durante aproximadamente 90 minutos. En este proceso se activan principalmente las enzimas diastáticas, las cuales tienen la función de entregar los azúcares fermentables que más tarde se convertirán en alcohol. Es de vital importancia que la temperatura se mantenga lo más constante posible durante todo el proceso, ya que de ello depende la cantidad de enzimas que se crean y por lo tanto del alcohol que se generará más tarde en la cerveza.

Maceración escalonada: se realiza la mezcla del mosto y se deja reposar a una temperatura inicial de 32° [C]. A esta mezcla se le aumenta la temperatura de forma escalonada hasta un máximo de 70° [C], logrando así la creación de enzimas proteolíticas y diastáticas. La mejor forma de hacerlo es dividir la diferencia entre la temperatura inicial y final por el tiempo de maceración total para calcular cuántos grados por minuto se debe aumentar la temperatura. En comparación a la forma simple es más compleja ya que requiere un control más exacto de la temperatura, pero permite la creación de enzimas que benefician enormemente a la cerveza.

La manera más común de realizar la maceración es mediante el método simple, ya que se logran buenos resultados y no se requiere de un gran esfuerzo para realizarla.

Así entonces se cuenta con una primera olla “A” (por ejemplo, de 40 litros de capacidad) la cual se llena de agua caliente. Luego en una segunda olla “B” (la cual cuenta con un filtro simple de partículas en el fondo y tiene 30 litros de capacidad) se hace una mezcla de aproximadamente 20 [L] de agua con 6 [kg] malta, creando así el mosto. Esta mezcla debe permanecer a 67° [C] durante 90 minutos en caso de utilizar la maceración simple. En este punto se debe medir la densidad del producto la cual depende de la receta que se esté elaborando. Una densidad típica del mosto es de unos 1050 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

Además, es importante mencionar que todas las ollas utilizadas en el proceso de elaboración de cerveza artesanal deben tener una válvula de escape en la base de la misma, para que con esto se pueda hacer circular el líquido de olla en olla en una estructura de 3 pisos.

De las etapas que constituyen la elaboración de cerveza artesanal, esta es una de las modificables, ya que el proceso de mezcla en sí se puede realizar de nuevas maneras (aplicando tecnologías) sin alterar el tiempo y temperatura que se necesitan. Además, con estas mismas tecnologías se puede optar por un macerado escalonado en vez de uno simple, lo cual otorga mayores ventajas en cuanto a las enzimas creadas.

2.4.3 Recirculación

Una vez finalizado el macerado, se debe realizar un recirculado [4] con el fin de clarificar el jugo del mosto obtenido. Este proceso se puede realizar de forma manual o automática:

Recirculación manual: se llena una jarra proveniente de la olla en donde se encuentra el jugo del mosto (olla “B”) y se vuelve a verter en la misma olla por la parte superior, de esta manera las impurezas quedan suspendidas en la misma concentración de mosto y solo baja el jugo más clarificado. Cabe recordar que en esta olla existe un filtro en el fondo que separa físicamente el jugo de la cebada malteada. Esta operación se debe realizar unas 30 veces.

Recirculación automática: mediante una bomba se hace recircular el jugo obtenido de la misma manera que la forma manual. Este proceso se debe realizar durante 15 minutos a un caudal recomendado de 5 [L/min].

De las etapas que constituyen la elaboración de cerveza artesanal, esta es una de las modificables, ya que en la mayoría de los casos se realiza recirculación manual, lo que utiliza más tiempo y energía.

2.4.4 Lavado del grano

Después de realizar el recirculado, se tendrá un mosto más transparente y libre de impurezas. En este momento es cuando se separa definitivamente el líquido de la cebada y se vierte todo el jugo de la olla de maceración “B” a la olla de cocción “C” [4].

Como se explicó anteriormente, se tenía una olla “A” de agua con 40 [L] de capacidad, de los cuales se utilizaron solo 20 [L] para la maceración, de donde se suelen obtener aproximadamente 5 – 6 [L] de jugo de cerveza.

Una vez que se abre la válvula de la olla de maceración “B” para traspasar el jugo a la olla de cocción “C”, se vierten paralelamente los 20 [L] de agua caliente de la olla “A” (de forma gradual) a la olla de maceración “B”, traspasando así los últimos azúcares y enzimas a la nueva agua y lavando de esta manera el grano sobrante.

Este proceso se realiza hasta que el jugo en la olla de cocción “C” logre una densidad de unos 4 o 5 puntos menores a la densidad final que debe tener la cerveza (la cual depende de la receta). Esto es porque en la cocción se suele evaporar un poco de agua y se concentra la mezcla mediante los lúpulos. Entonces si por ejemplo para el final de la cocción se necesita una mezcla con una densidad de $1048 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ según receta, se crea una mezcla antes de la

cocción con una densidad de aproximadamente $1044 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$. Cabe recalcar que a estas alturas se logran unos 18 – 22 [L] de jugo efectivo gracias al lavado.

De las etapas que constituyen la elaboración de cerveza artesanal, esta es una de las más modificables, ya que el proceso de lavado es arcaico y toma tiempo y esfuerzo por parte del usuario. Incluso el proceso de recirculación y lavado tienen bastante en común, ya que en el fondo los dos tienen como objetivo limpiar y aprovechar las últimas enzimas y azúcares presentes en lo que queda de mosto.

2.4.5 Cocción del mosto

En la cocción [4] se tiene como principal objetivo la adición de los lúpulos que se utilizarán en la elaboración de la cerveza artesanal mientras se hierve el líquido utilizado. Como se dijo anteriormente, estos lúpulos son los encargados de entregar amargor, sabor y aroma a la cerveza.

En la manera tradicional, se suele separar la adición de lúpulos en tres etapas:

Etapas de amargor: se realiza al comienzo de la cocción (primeros 15 minutos). Generalmente se utilizan lúpulos con gran cantidad de ácidos alfas o más bien lúpulos amargos.

Etapas de sabor: se realiza más o menos en la mitad del proceso de cocción (a los 30 minutos aproximadamente). Se suelen utilizar lúpulos más finos con menos ácidos alfas.

Etapas de aroma: se realiza unos minutos antes de finalizar la cocción. Se utilizan generalmente lúpulos con pocos ácidos alfas o más bien lúpulos aromáticos.

El proceso de cocción suele durar entre 60-70 minutos según la receta a preparar. También suele adicionarse un clarificante unos 20 minutos antes de terminar el proceso, para lograr así una cerveza aún más limpia y transparente.

Es importante destacar que los lúpulos añadidos actúan gracias a que el líquido está a una alta temperatura (rodeando los $100^{\circ} [C]$), por lo que una vez finalizada la cocción es importante disminuir lo más rápidamente posible la temperatura del jugo para que estos lúpulos detengan su actuar.

De las etapas que constituyen la elaboración de cerveza artesanal, esta es una de las inmodificables, ya que los tiempos de cocción están estandarizados y son los necesarios para que los lúpulos entreguen el amargor, aroma y sabor para la correcta elaboración de la cerveza.

2.4.6 Decantado

En la etapa de decantado [4] se revuelve el interior de la olla de cocción durante un tiempo recomendado de 5 minutos para así decantar el lúpulo que se encuentra en suspensión. Se puede hacer de forma manual.

Esto también se podría realizar de forma automática utilizando una bomba, pero este proceso suele ser sencillo y corto, por lo que la inversión en tecnologías que hagan lo mismo de forma automática no se justifica.

Si bien es una etapa de simple ejecución, no tiene sentido modificarla o eliminarla ya que no presenta un mayor esfuerzo por parte del usuario.

2.4.7 Enfriado

El enfriado [4] consiste en bajar la temperatura del jugo producto de la etapa de cocción desde los 100° [C] hasta los 20 – 25° [C] aproximadamente. Es de vital importancia que este proceso sea lo más rápido posible (un tiempo recomendado es de 5 minutos), ya que de no ser así los lúpulos adicionados en la etapa de cocción seguirán actuando indeseablemente, estropeando la cerveza.

Este proceso en su forma tradicional se suele realizar utilizando un serpentín de cobre, el cual se sumerge en la olla de cocción y se conecta a la red de agua potable fría del lugar de trabajo, haciendo circular el agua y enfriando la mezcla. Esto toma aproximadamente 25 a 30 minutos, y como se mencionó anteriormente en la etapa de cocción, los lúpulos actúan a altas temperaturas, por lo que un enfriado lento recae en una actividad indeseable de los lúpulos.

Con lo anteriormente explicado, es importante que esta etapa se modifique en el nuevo proceso de elaboración de cerveza, añadiendo, por ejemplo, tecnologías que permitan un enfriado más rápido de la mezcla.

2.4.8 Fermentación

Una vez que la temperatura ha descendido lo suficiente, se procede a vaciar el jugo de la olla a un fermentador, el cual debe ser previamente esterilizado. En este proceso se adicionan levaduras encargadas de transformar los azúcares presentes en alcohol. Cabe recalcar que se debe medir la densidad de esta mezcla para más tarde poder calcular el grado de alcohol que poseerá la cerveza [4].

Para cervezas tipo Ale este proceso tiene una duración aproximada de 7 a 8 días, en donde se debe mantener el fermentador a una temperatura óptima de $18 - 24^{\circ} [C]$. Para cervezas tipo Lager el proceso de fermentación tiene una duración aproximada de 13 a 14 días y se debe mantener el fermentador a una temperatura óptima de $11 - 15^{\circ} [C]$.

Una vez finalizado este proceso se debe medir nuevamente la densidad de la mezcla ya fermentada para así poder calcular el grado de alcohol:

$$^{\circ}Alcohol = \frac{\text{densidad antes de fermentar} - \text{densidad despues de fermentar}}{7,4}$$

Lo recomendable es obtener una diferencia entre la densidad antes y después de la fermentación de unos $35 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ para así obtener un grado alcohólico de $4,7^{\circ}$. Es importante recordar que las distintas densidades a lo largo del proceso de elaboración de cerveza están recomendadas según receta, y además el grado alcohólico final puede variar según el gusto del usuario logrando distintas diferencias de densidades.

También se puede medir el alcohol final utilizando un alcoholímetro, la cual es una herramienta de medición que no tiene altos costos de adquisición. En la práctica no se suelen utilizar ya que la medición de densidades son procesos sencillos que entregan resultados precisos y que además sirven como parámetros guías al momento de seguir las recetas de elaboración.

Finalmente, la cerveza se embotella y se puede gasificar de manera natural utilizando azúcares simples o artificialmente mediante CO_2 .

En la manera tradicional se suele gasificar utilizando cualquier tipo de azúcar simple, como la fructosa, dextrosa, glucosa, etc. Estas se añaden a cada una de las botellas y se cierran para que se cree el gas necesario del producto final.

La cantidad de azúcar que se debe añadir depende del tipo de cerveza que se elaboró. En la *Tabla 2.2* se muestra la cantidad de gramos de azúcar por litro de cerveza que se deben mezclar para la gasificación de las botellas a una temperatura de 15° [C].

Tabla 2.2. Gramos de azúcar por litro de cerveza en la gasificación.

Tipo de cerveza	Cantidad de azúcar [g/L]
Ales ingles	1,5 – 2,2
Ales americanas	2,2 – 3
Ales belgas	2 – 4
Trigo alemanas	2,8 – 5
Lagers	2,4 – 2,8

3 Capítulo 3: Necesidades del cliente y alternativas de rediseño.

3.1 Necesidades del cliente

Con el proceso de elaboración de cerveza detalladamente explicado, se procede a identificar las necesidades que el cliente requiere para el uso de una estructura que tenga como función la elaboración de cerveza artesanal.

3.1.1 Atributos

Para ello se listan una serie de atributos que debería tener la estructura y el proceso general de fabricación de cerveza artesanal.

- Costo de estructura asequible.
- Costo de equipos asequible.
- Uso adecuado de los recursos.
- Peso adecuado de la estructura.
- Rigidez adecuada de la estructura.
- Fácil manipulación de la estructura.
- Fácil movilidad de la estructura.
- Estructura resistente a golpes.
- Elementos visiblemente organizados.
- Baja mantención.
- Agradable a la vista.
- Disponibilidad de tamaños del proceso (ollas).
- Larga vida útil de los equipos.
- No poseer bordes filosos o inseguros.
- Preciso control de variables (temperatura, caudal, densidad).
- Bajos tiempos entre etapas.
- Altura máxima de 2 metros.
- Permitir elaboración de cerveza.

3.1.2 Objetivos, funciones y restricciones

Esta lista de atributos, se divide en objetivos, funciones y restricciones como se muestra en la *Tabla 3.1*.

Tabla 3.1. Lista de atributos distribuidos en objetivos, funciones y restricciones.

Objetivos	Restricciones	Funciones
1. Costo de estructura asequible 2. Costo de equipos asequible 3. Uso adecuado de los recursos 4. Peso adecuado de la estructura 5. Rigidez adecuada de la estructura 6. Fácil manipulación de la estructura 7. Fácil movilidad de la estructura 8. Estructura resistente a golpes 9. Elementos visiblemente organizados 10. Baja mantención 11. Agradable a la vista 12. Disponibilidad de tamaños del proceso 13. Larga vida útil de los equipos 14. No poseer bordes filosos o inseguros 15. Preciso control de variables 16. Bajos tiempos entre etapas	1. Altura máxima de 2 metros de la estructura	1. Permitir proceso de elaboración de cerveza

3.1.3 Apariencia, seguridad, costo y desempeño.

Dentro de los objetivos, se subdivide la categoría en 4 subcategorías de importancia: apariencia, seguridad, costo y desempeño como se muestra en la *Tabla 3.2*.

Tabla 3.2. Distribución de los objetivos en apariencia, seguridad, costos y desempeño.

Apariencia	Seguridad	Costo	Desempeño
1. Elementos visiblemente organizados 2. Agradable a la vista	1. No poseer bordes filosos o inseguros	1. Costo de estructura asequible 2. Costo de equipos asequible.	1. Uso adecuado de los recursos 2. Peso adecuado de la estructura 3. Rigidez adecuada de la estructura 4. Fácil manipulación de la estructura 5. Fácil movilidad de la estructura 6. Estructura resistente a golpes 7. Baja mantención 8. Disponibilidad de tamaños del proceso 9. Larga vida útil de los equipos 10. Preciso control de variables 11. Bajos tiempos entre etapas

Una vez se ha identificado la subcategoría de cada objetivo, se procede a comparar la importancia entre ellas mediante tablas de pesos relativo. El detalle de cada tabla se puede encontrar en el *Anexo B. Pesos relativos y absolutos entre subcategorías de los objetivos de los atributos de las necesidades del cliente..*

De la tabla, se obtiene que lo más importante es el desempeño (con un 60,11 % de peso absoluto), seguido del costo (30,84 %), la seguridad (5,35 %) y la apariencia (3,70 %).

Estos valores están directamente relacionados con los objetivos específicos de la memoria: El desempeño impacta directamente en la cantidad de tiempo, recursos y esfuerzo requerido por parte del usuario para la elaboración de cerveza; mejores tecnologías generalmente implican mayores inversiones; la seguridad no tiene una importancia significativa ya que el mismo proceso de elaboración de cerveza no presenta riesgos grandes para el usuario; y por último la apariencia recae totalmente en algo estético.

3.2 Carta morfológica

Para la modificación del proceso de elaboración de cerveza artesanal, se elaboraron posibles alternativas para ciertos criterios de diseño (*Tabla 3.3*).

- Cantidad de ollas
- Cantidad de etapas
- Material de la estructura
- Tipo de calentamiento
- Modo de enfriamiento

Tabla 3.3. Alternativas de diseño para cada criterio.

	Alternativas		
Cantidad de ollas	3	2	1
Cantidad de etapas	8	7	6
Material estructura	Acero Estructural	Aluminio	Acero inoxidable
Tipo de calentamiento	Quemador a gas	Quemador eléctrico	Quemador con soplante
Modo de Enfriamiento	serpentín de cobre	Intercambiador de calor	Intercambiador de placas

3.3 Generación y selección de alternativas.

En la generación de las alternativas de diseño, se desarrollaron 3 opciones, en donde la primera corresponde al proceso tradicional de cerveza y las otras dos a posibles rediseños del proceso tradicional.

Dentro del proceso de elaboración de cerveza artesanal descrito anteriormente, la mayor utilización de equipos se concentra en la etapa de maceración y cocción. Para estos procesos se necesita un total de 3 ollas con distintas capacidades y características, lo cual ocupa espacio, tiempo y recursos. También se suele utilizar un quemador a gas con su respectivo tanque (un galón), lo cual aumenta aún más el espacio utilizado. La disposición convencional para la elaboración de cerveza artesanal se puede ver en la *Figura 3.1*.



Figura 3.1. Disposición tradicional de elaboración de cerveza artesanal. Maceración.

Además, el avance de un proceso a otro se realiza de forma manual, es decir, la medición de parámetros, la adición de líquidos y sustancias y el transporte de las ollas los realiza manualmente quien hace el trabajo, lo cual es lento y agotador.

A lo largo del proceso, existen dos etapas en donde no se aprovechan bien los recursos. Estas son la fase de maceración y la de enfriamiento.

Además, existen otras dos etapas que, si bien son parte del proceso de elaboración de cerveza, no son la columna vertebral de esta y pueden ser modificadas. Estas son las de recirculado y lavado.

Una alternativa para la etapa de maceración, es utilizar la totalidad del agua calentada en la etapa de preparación y mezclarlos con la malta. De esta manera no es necesario considerar una olla solamente para el calentamiento del agua, si no que se utiliza directamente la olla de maceración. Esto se complementa perfectamente con la reducción de equipos y etapas en la elaboración de cerveza artesanal.

La etapa de recirculado se puede hacer manual o automáticamente durante todo el proceso de maceración, y que con las tecnologías adecuadas se puede combinar con la etapa de lavado en una sola.

En la etapa de enfriamiento el proceso es ineficiente porque se desaprovechan los recursos, o más específicamente existe una mala utilización del agua. En la forma tradicional, la manera de enfriar el jugo luego de la cocción es mediante un serpentín de cobre. Este serpentín se introduce dentro de la olla de cocción y se conecta a la red de agua potable del lugar de trabajo. Este intercambio de calor permite una reducción de la temperatura desde los 100° [C] hasta los 20° [C] en aproximadamente unos 30-40 minutos. Uno de los objetivos de este trabajo es reducir el tiempo utilizado y el uso innecesario de agua.

3.3.1 Alternativa base: proceso tradicional

Esta opción se basa en la fabricación de cerveza de manera tradicional. Los equipos, insumos y etapas utilizadas en él son los descritos anteriormente en el capítulo 2.4.

En la *Figura 3.2* se puede apreciar el diagrama de flujo correspondiente a este proceso, en donde se detallan todas las etapas presentes en la elaboración de cerveza y las mediciones de parámetros que se deben realizar en el camino.

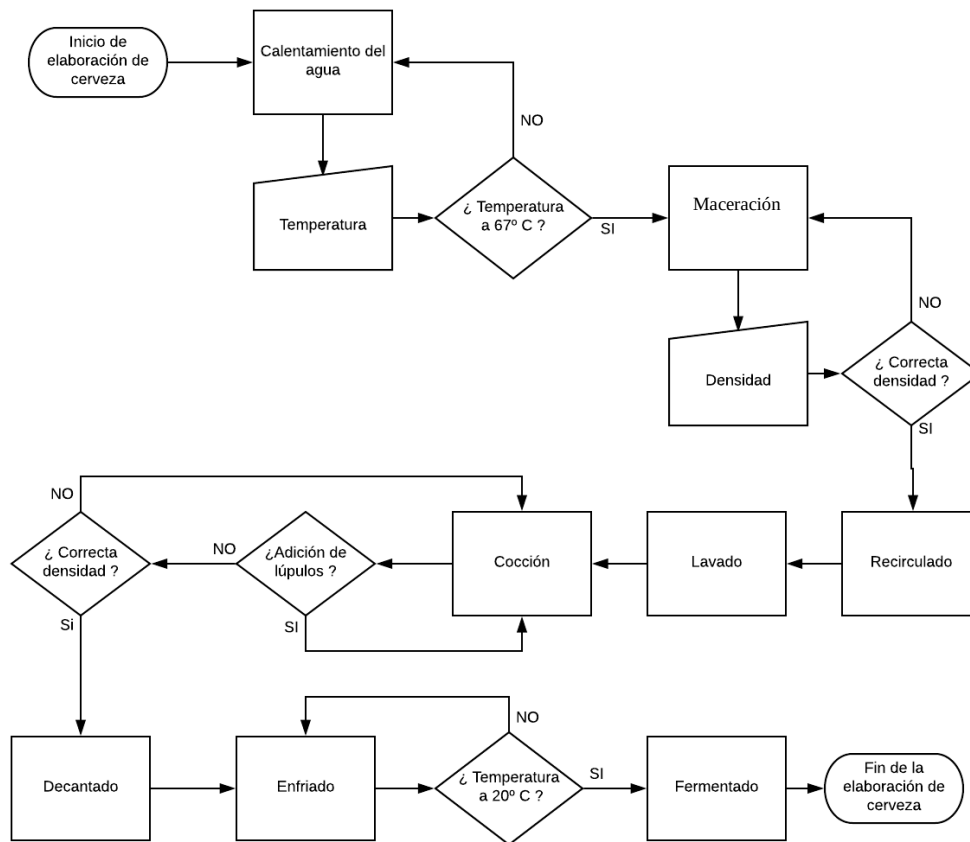


Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso tradicional de cerveza.

3.3.2 Alternativa 1: minimización de los costos

Esta opción se basa en la minimización de los costos de equipos, materiales y procesos de la elaboración de cerveza artesanal buscando también la reducción de tiempos y espacio.

En este proceso, se elimina la olla de calentamiento de agua. La manera en que se combina el proceso de calentamiento de agua con el de maceración es utilizando la olla de maceración para calentar la totalidad del agua. Como la capacidad de la olla de calentamiento suele duplicar a la de olla de maceración, esta última ahora debe aumentar su capacidad para ser capaz de realizar los dos procesos (*Figura 3.3*).

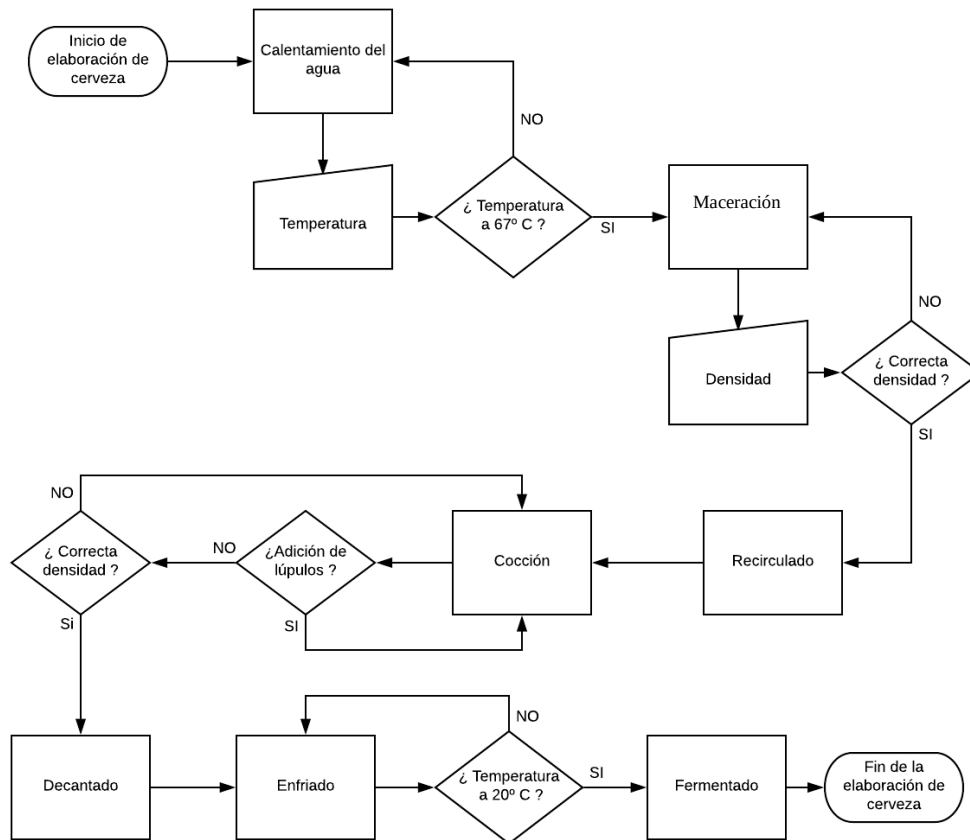


Figura 3.3. Diagrama de flujo modificado para el proceso tradicional de cerveza correspondiente a la alternativa 1.

Como ya no existe olla de calentamiento, se elimina indirectamente el proceso de lavado ya que la totalidad del agua está siempre en contacto con la totalidad del cereal.

Por otro lado, el proceso de enfriamiento se realizará mediante un serpentín de cobre, el cual intercambia el calor entre agua fría y el jugo de la cebada.

3.3.3 Alternativa 2: Minimización del tiempo

Esta opción se basa en la agilización del proceso en cuanto a los tiempos muertos (tiempos entre etapas), tiempo de enfriamiento del mosto, control de las variables importantes del proceso de fabricación de cerveza artesanal y espacio utilizado a costa de una mayor inversión.

La manera en que se combinan los tres principales procesos en una olla es el siguiente: se cuenta con una única olla de X litros de capacidad, en la cual se realiza el calentamiento de agua previo. A su vez en su interior posee una “olla auxiliar” de aproximadamente la mitad de su capacidad con un fondo de rejilla y otro filtro superior también de rejilla. Esta olla interior tiene como función contener la cebada malteada que se utiliza en la maceración, pero separándola físicamente del líquido de la olla grande.

Además, el sistema presenta una bomba en la parte inferior de la olla principal que hace circular el líquido de forma ascendente, haciendo rebalsar la olla pequeña, logrando así que el proceso de recirculado y lavado ocurran al mismo tiempo y en todo momento en la etapa de maceración.

Finalizado el proceso de maceración se retira esta olla pequeña junto con la cebada, dejando así solo el jugo necesario en la olla grande para el siguiente proceso de cocción.

En la etapa de enfriamiento se utiliza un intercambiador de placas, el cual, si bien tiene un mayor costo que un serpentín de cobre, reduce el tiempo de enfriamiento significativamente. El diagrama de flujo de esta alternativa se muestra en la *Figura 3.4*.

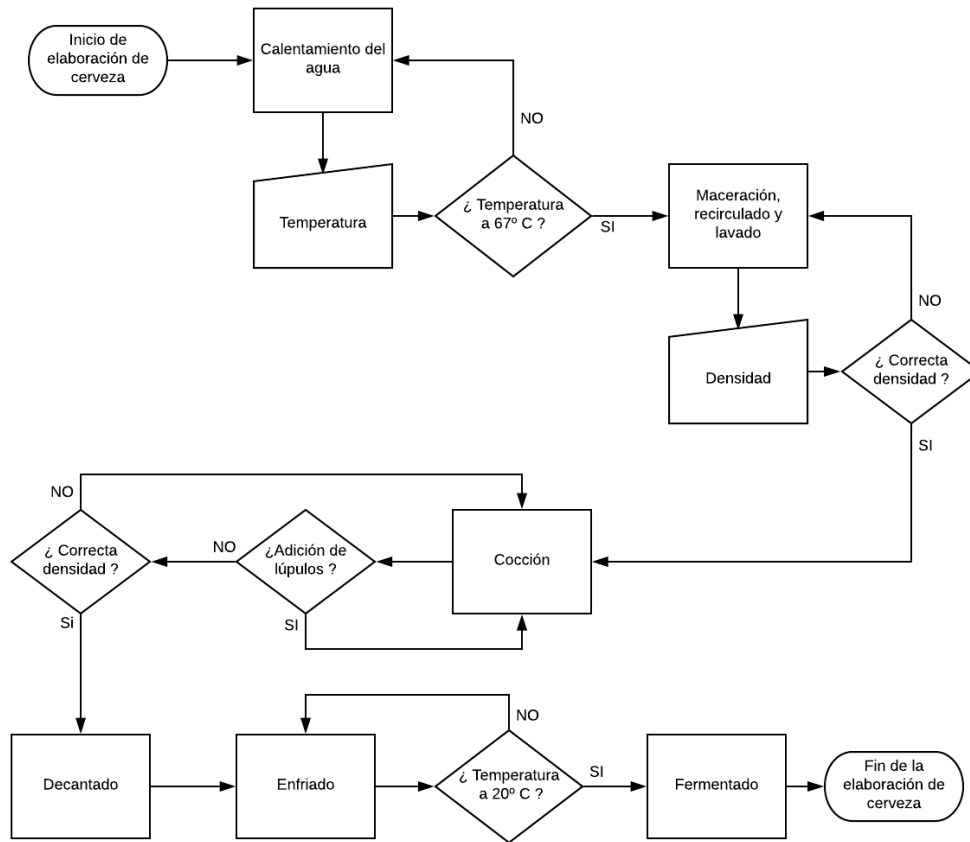


Figura 3.4. Diagrama de flujo modificado para el proceso tradicional de cerveza correspondiente a la alternativa 2.

3.3.4 Selección de alternativa

Para seleccionar la alternativa que mejor cumple con los atributos requeridos, se realiza una matriz de decisión tomando como base el proceso tradicional de elaboración de cerveza, ya que es el proceso que se quiere rediseñar (*Anexo C. Matriz de decisión de alternativas de rediseño.*). Para esto se utilizaron datos como costos de inversión, cantidad de equipos y tiempo total de elaboración para cada alternativa (*Tabla 3.4*).

Cabe recalcar que los costos entre equipos y estructura abarcan el 30% aproximadamente del peso total del proceso de fabricación de cerveza artesanal. Este es un punto muy a favor de la alternativa 1, ya que es la que obtiene mejores puntajes en este ámbito. En el *Anexo D. Cotización de equipos y herramientas.* se puede encontrar en detalle el costo unitario aproximado de los equipos utilizados en las tres alternativas.

Por otro lado, la alternativa 2 es superior en puntaje para todos los puntos de desempeño ya que es esta la que busca disminuir los tiempos de producción y la agilización de todas las etapas de elaboración. Ambas alternativas buscan cumplir con los objetivos planteados al inicio de la memoria, los cuales son reducir los tiempos de procesos (*Anexo E. Tiempos de*), equipos, etapas y costos asociados. De todos modos, ambas alternativas ofrecen una mejora al proceso tradicional, siendo la alternativa 2 la de mejor puntaje.

Tabla 3.4. Características, costos y tiempos totales de cada alternativa.

Criterio	Alternativa base	Alternativa 1	Alternativa 2
Cantidad de ollas	3	2	2
Cantidad de procesos	8	7	6
Material estructura	Acero estructural	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Tipo de quemador	Quemador a gas	Quemador a gas	Quemador eléctrico
Modo de enfriamiento	serpentín de cobre (agua)	serpentín de cobre (agua)	Intercambiador de placas
Costo total del proceso [CLP]	\$ 464.460	\$ 390.230	\$ 573.665
Tiempo total del proceso [hrs]	6,42	6,00	4,25

3.4 Nuevo proceso de elaboración de cerveza.

Con la alternativa seleccionado, se crea un proceso de elaboración de cerveza modificado, el cual consta de un total de 6 etapas, en donde particularmente la etapa de maceración, recirculado y lavado se combinan en una sola.

3.4.1 Preparación

Como se describió en el *capítulo 2.4.1*, lo primero que se debe preparar para una correcta elaboración de la cerveza son las materias primas que se utilizarán a lo largo de todo el proceso. Estas son:

1. La levadura
2. El agua
3. La cebada malteada
4. Los lúpulos

Para este nuevo proceso de elaboración de cerveza, se calentará la totalidad del agua que se utilizará en la olla principal del equipo. Cabe recalcar que ahora se utiliza un quemador eléctrico el cual está conectado a un regulador de temperatura digital, lo cual permite tener un control más exacto de la temperatura en todas las etapas del proceso de elaboración.

Es importante mencionar que este control se podría realizar tanto con un quemador a gas como con uno eléctrico, pero en la alternativa seleccionada se optó por incorporar este último debido a que prescinde de una fuente de gas (generalmente un tanque) el cual ocupa un espacio indeseable.

3.4.2 Maceración/Recirculación/Lavado

Como se explicó en el *capítulo 2.4.2* la técnica de maceración utilizada normalmente es la de maceración simple ya que permite obtener buenos resultados sin la necesidad de tener un control tan exacto de la temperatura como en la maceración escalonada. En este nuevo proceso de elaboración de cerveza gracias a la implementación del regulador de temperatura digital es posible realizar una maceración escalonada de una forma más sencilla para el usuario.

La naturaleza del macerado no se verá afectada (temperatura máxima y tiempo de macerado) ya que son variables estandarizadas e indispensables para una correcta elaboración

de cerveza, sin embargo, una maceración escalonada permite aprovechar al máximo todas las enzimas presentes en la cebada, entregando mejores propiedades y aumentando la calidad final del producto.

Cuando comienza esta etapa, se añade la cebada malteada a la olla secundaria del equipo de elaboración de cerveza. Además, se cuenta con una pequeña bomba situada en la estructura, la cual permite una recirculación/lavado automática del jugo sobre la cebada durante toda la etapa de maceración.

Al finalizar la maceración, se retira la olla secundaria separando así físicamente la cebada del jugo de la cerveza.

3.4.3 Cocción

Como se explicó en el *capítulo 2.4.5* esta es una de las etapas en las cuales no se pueden realizar modificaciones importantes.

Una vez finalizada la maceración, se procede a calentar el jugo obtenido añadiéndole los lúpulos correspondientes cuando sea necesario.

Por otro lado, como ahora se cuenta con un regulador de temperatura digital se puede mantener una temperatura de cocción constante en la olla principal durante todo el proceso.

3.4.4 Decantado

Como se describió en el *capítulo 2.4.6* el decantado consiste en revolver el jugo de la cerveza luego de la cocción para así decantar el lúpulo que se encuentra en suspensión. Este proceso no presenta cambios El decantado se realiza en la olla principal.

3.4.5 Enfriado

Como se explicó en el *capítulo 2.4.7* el enfriado consiste en hacer descender la temperatura del jugo producto de la cocción hasta los 20° [C] aproximadamente.

En este nuevo proceso de elaboración se utilizará un intercambiador de placas de acero inoxidable, el cual tiene una capacidad de enfriar líquido desde los 100° hasta los 20° [C] a un caudal de 5 [L/min] según las especificaciones técnicas del fabricante [5].

Con esto, se mejora una de las etapas que más influencia tiene en el resultado final de la cerveza artesanal, ya que se logra reducir el tiempo de enfriado desde los 30 minutos (forma tradicional) hasta aproximadamente los 5 minutos utilizando el nuevo intercambiador de placas.

3.4.6 Fermentación

Esta etapa no presenta ningún cambio según lo explicado en el *capítulo 2.4.8*.

3.5 Riesgos

Un riesgo que se corre al construir el diseño del equipo, es fallar en la correcta terminación y ensamblaje de las partes del modelo para evitar fugas y pérdidas de energía. Como se explicará más adelante, las ollas deben ser sometidas a ciertas modificaciones para añadirles conexiones rápidas que se unen al sistema de válvulas. Un deficiente ensamblado del modelo recae en posibles fugas de líquido y por lo tanto en un mayor requerimiento de la bomba utilizada, aparte de perder el producto final.

Otro de los riesgos importantes que se corre, es subvalorar la capacidad de la bomba utilizada en el sistema de válvulas. Existen dos situaciones que dan lugar a la elección de la bomba; primero, que sea capaz de levantar el líquido de trabajo desde el punto de aspiración hasta la parte superior del equipo (aproximadamente 1 metro de altura); segundo, que sea capaz de hacer circular el líquido de trabajo por todo el sistema de válvulas y las resistencias que esta conlleva (cañerías, válvulas y el enfriador de placas). La bomba seleccionada será la que cumpla con ambas condiciones.

4 Capítulo 4: Diseño del equipo único de fabricación de cerveza.

4.1 Diseño de las partes del modelo.

Una vez definido el nuevo proceso de elaboración de cerveza, se procede a realizar el diseño del equipo que se utilizará. Este diseño se inicia con la creación de una estructura que sea capaz de soportar y almacenar todos los equipos y tecnologías utilizadas en el proceso de elaboración de cerveza. Luego, se procede a diseñar una olla principal y una olla secundaria que tengan las modificaciones necesarias para la correcta realización del proceso.

Por otro lado, se le añadirán mejoras y tecnologías tales como una bomba centrífuga, un quemador eléctrico, un enfriador de placas y un sistema de válvulas para acelerar todo el proceso de elaboración de cerveza. Estos elementos deben quedar bien organizados y situados en el diseño, para así, reducir lo más posible el espacio utilizado. Se puede encontrar el detalle de costos unitarios, costos totales y pesos para cada una de las partes en el *Anexo D. Cotización de equipos y herramientas. (Tabla D.2).*

Se explicará a continuación cada una de sus partes, describiendo sus funciones principales, las ventajas y desventajas que se presentan con respecto al proceso tradicional.

4.1.1 Estructura

Esta estructura se diseñó teniendo en consideración la reducción de espacio y la comodidad del usuario al momento de elaborar la cerveza artesanal (*Figura 4.1*). Las medidas generales de este elemento se encuentran detalladas en el *Anexo H. Medidas generales del modelo*.

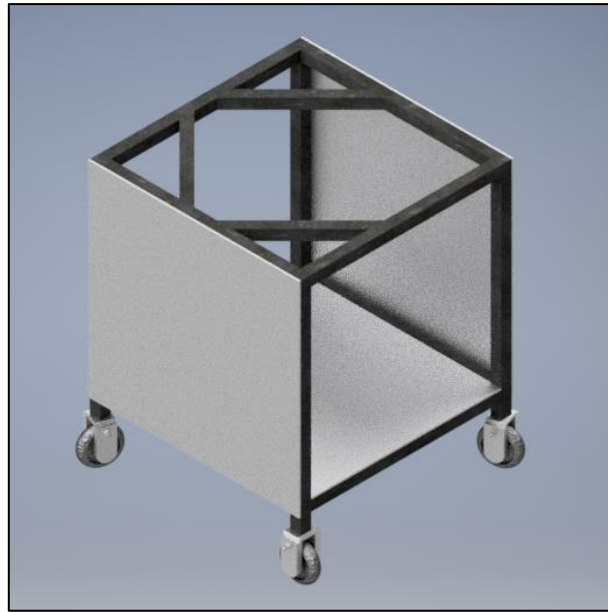


Figura 4.1. Diseño de la estructura base.

Paralelamente, se realizó la cotización de ruedas acordes a las condiciones de trabajo del diseño del equipo cervecero. Las ruedas seleccionadas (*Figura 4.2*) pertenecen a la empresa Rodani S.A. [6] y tienen las siguientes características:

- Material rueda: Goma semi elástica montada sobre núcleo de polipropileno.
- Material Soporte: Acero inoxidable estampado (AISI 304) cromatizado.
- Tipo de rueda: Giratoria con pasador con y sin freno.
- Diámetro rueda: 80 [mm]
- Ancho rueda: 25 [mm]

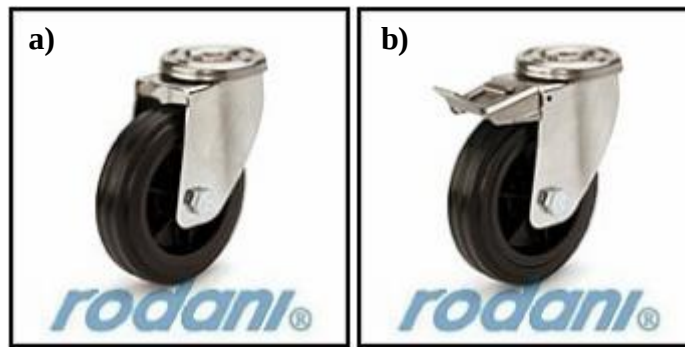


Figura 4.2. Ruedas de acero inoxidable AISI 304 marca Rodani. a) Rueda giratoria con pasador. b) Rueda giratoria con pasador y freno.

Funciones de la estructura:

- Soportar la olla principal y todo el proceso de elaboración.
- Entregar una altura adecuada para la elaboración de la cerveza.
- Contener bombas, motores, cables, mangueras y tecnologías utilizadas.

Ventajas:

- Espacio utilizado reducido en comparación al proceso tradicional.
- Movilización más fácil y ágil gracias a la implementación de ruedas.

Desventajas:

- Se eleva ligeramente el costo de la estructura comparada al proceso tradicional debido a la implementación de ruedas (las cuales corresponden al 5 % del costo total).

4.1.2 Olla principal

Este elemento se diseñó considerando que es el que realizará el proceso de elaboración de cerveza durante todas las etapas. Esta olla presenta un vástago central el cual tiene como función centrar la olla secundaria en su interior (*Figura 4.3*). Sus medidas generales se encuentran en el *Anexo H. Medidas generales del modelo*.

Funciones:

- Contener el líquido durante todo el proceso de elaboración.
- Contener la olla secundaria y su eje guía.
- Contener el quemador eléctrico.

Ventajas:

- Menor espacio utilizado al reemplazar las tres ollas del proceso tradicional.
- Permite la elaboración en un espacio único evitando la transición de olla en olla.

Desventajas:

- Debe ser modificada en comparación a una olla simple utilizada en el proceso tradicional.

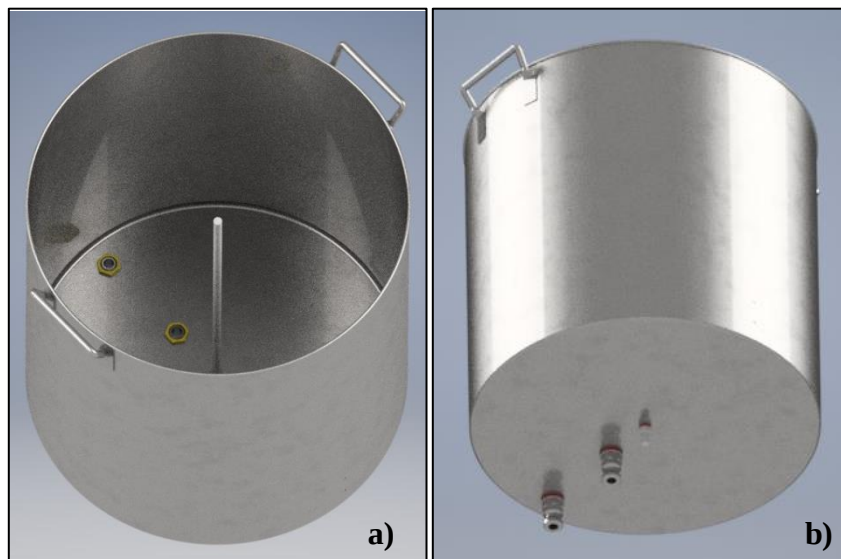


Figura 4.3. Diseño de la olla principal. a) Vista superior y vástago central, b) Vista inferior.

4.1.3 Olla secundaria

El diseño de la olla secundaria se realizó considerando que en este elemento, se separará físicamente la cebada del agua en la etapa de maceración. Esta olla, se encuentra centrada en el interior de la olla principal a través de un eje guía y cuenta con un filtro superior e inferior, los cuales permiten el paso del líquido pero que evitan que la cebada se escape (Figura 4.4). Sus medidas generales se encuentran en el *Anexo H. Medidas generales del modelo*.

Funciones:

- Contener la cebada en la etapa de maceración.
- Separar la cebada del agua contenida en la olla principal.
- Evitar la disolución de la cebada en el agua utilizada.

Ventajas:

- Permite un fácil retiro de la cebada utilizada en la etapa de maceración.
- Se reduce el tiempo total de elaboración al evitar la disolución de la cebada.

Desventajas:

- Se debe modificar una olla normal para adaptarla al diseño.

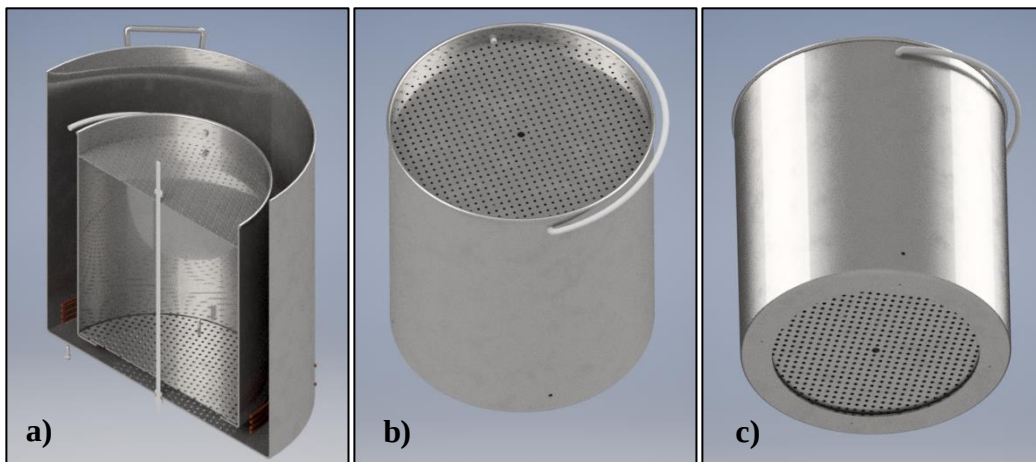


Figura 4.4. Diseño de la olla secundaria. a) Corte transversal de la olla secundaria al interior de la olla principal, centrada mediante un vástago, b) Filtro superior, c) Filtro inferior.

4.2 Implementación de mejoras a los procesos.

Una vez definido el nuevo proceso de elaboración de cerveza, también se añadieron algunas mejoras que reducen el tiempo total de producción y aumentan la eficiencia en ciertas etapas.

4.2.1 Serpentin eléctrico

En el resultado final, es necesario optar por un tipo de calentamiento que disminuya el espacio utilizado y se adecúe al diseño del equipo cervecero. Para esto se definieron las condiciones básicas de trabajo de este calentador:

- Material en contacto directo con el líquido de trabajo.
- Capacidad de calentar la temperatura del líquido hasta los $100^{\circ} [C]$.
- Capacidad para calentar un mínimo de $40 [L]$.
- Voltaje de $220 [V]$.
- Diámetro requerido entre 330 y $420 [mm]$.

Para satisfacer estas condiciones, se cotizó una resistencia eléctrica tubular con la empresa Fabrestel S.A. [7] la cual tiene como característica poder variar en tamaño, forma y longitud dependiendo de la aplicación en la que se requiera.

Para esto se les envió un diseño preliminar (*Figura 4.5*) de la resistencia eléctrica tubular junto con las condiciones de trabajo antes mencionadas. La empresa diseña la resistencia según las condiciones y sus recomendaciones para satisfacer los requerimientos de trabajo. En la *Figura 4.6* se pueden apreciar algunos ejemplos de resistencias eléctricas tubulares que Fabrestel S.A. fabrica.

Características del producto:

- Material: Acero inoxidable AISI 304 niquelado.
- Diámetro tubular: $8 [mm]$.
- Diámetro circunferencia: $370 [mm]$.
- Voltaje: $220 [v]$.
- Cantidad de ciclos: 4.

Funciones:

- Calentar el líquido en la etapa de preparación, maceración y cocción.

Ventajas:

- Se reduce el espacio utilizado al prescindir de una fuente de gas (tanque).
- Calentamiento de temperatura homogéneo debido al recirculado por parte de la bomba.

Desventajas:

- Se debe diseñar la resistencia eléctrica acorde a las especificaciones del diseño.
- Eleva ligeramente el costo del diseño (corresponde al 5 % del costo total).



Figura 4.5. Diseño del serpentín eléctrico.



Figura 4.6. Resistencias eléctricas tubulares fabricadas por Fabrestel S.A.

4.2.2 Regulador de temperatura

Uno de los elementos que permite obtener grandes ventajas en la elaboración de la cerveza es el regulador de temperatura (*Figura 4.7*). Este dispositivo se conecta al quemador eléctrico y permite regular de forma automática la temperatura del líquido en cualquier etapa.

En este diseño se optó por un regulador de temperatura marca RKC modelo REX-400 [8], el cual tiene un rango de temperatura de $0 - 400^{\circ}\text{C}$ y actúa bajo un voltaje de $100 - 240 \text{ AC}$.



Figura 4.7. Regulador de temperatura marca RKC modelo Rex-C400 conectado al equipo.

Funciones:

- Regular la temperatura en las etapas que lo necesiten.

Ventajas:

- Regulación de temperatura automático.
- Permite mantener la temperatura a un nivel constante con un error de $\pm 2,7^{\circ} [C]$.
- Permite variar la temperatura de forma gradual para una maceración escalonada.
- Permite una lectura constante de temperatura cada $0,5 [s]$.

Desventajas:

- Añade complejidad a la utilización del equipo debido a la necesidad de aprender a usar un nuevo dispositivo.

Este modelo permite la conexión de termocuplas, alarmas, resistencias y entradas y salidas de corriente. El panel eléctrico del regulador se puede apreciar en la *Figura 4.8*.

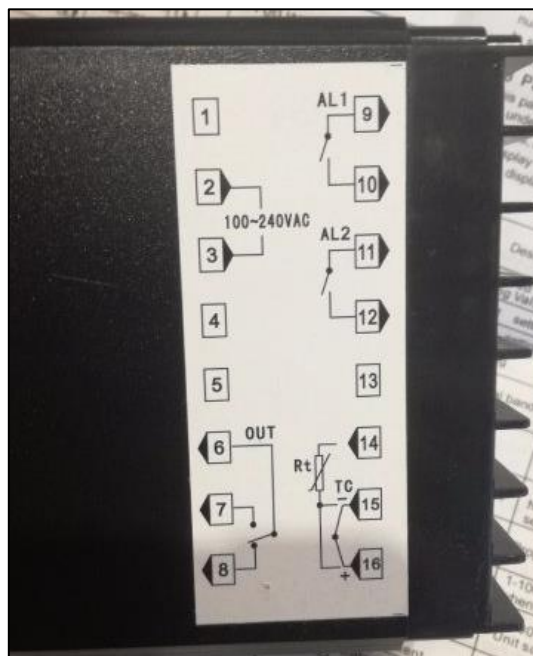


Figura 4.8. Esquema eléctrico del regulador de temperatura.

4.2.3 Bomba centrífuga grado alimenticio

Uno de los objetivos principales es reducir el tiempo total de elaboración de cerveza. Para lograr esto, se añade una bomba que sea capaz de hacer circular el jugo a través de ollas y cañerías.

Durante el proceso, se tiene un volumen de 30 [L] de líquido que debe circular a un caudal recomendado de 5 [L/min] para los procesos de recirculación y lavado. Entonces se identificaron y calcularon las variables básicas de trabajo del proceso de elaboración de cerveza (*Anexo F. Cálculo de la bomba centrífuga.*):

- Tipo de líquido: Mosto de cerveza (similar al agua)
- Caudal requerido: 5 [L/min]
- Altura total del sistema: 2,24 [m]
- Tipo servicio: Continuo
- Instalación: horizontal

Para esta aplicación se seleccionó una bomba marca Chugger Pump modelo CPSS-IN-1 [9] como se muestra en la *Figura 4.9*.

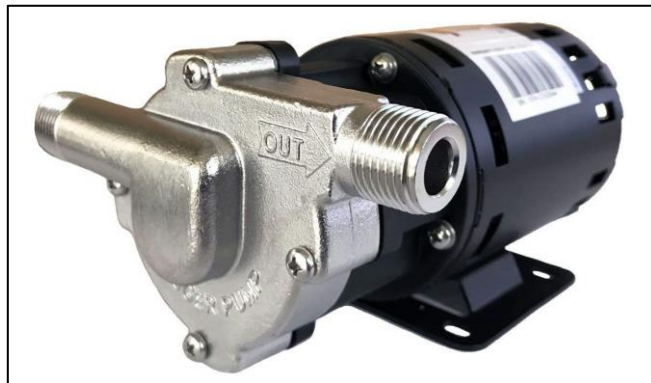


Figura 4.9. Bomba marca Chugger Pump modelo CPSS-IN-1.

Características del producto:

- Tipo de bomba: Centrífuga
- Dirección del flujo: Radial
- Tipo de etapa: Una etapa
- Tipo de flujo: Simple
- Tipo de eje: Horizontal.
- Material: Acero inoxidable
- Potencia: 29 [W]
- Voltaje: 230 VAC
- Temperatura máxima: 130° [C]
- Flujo máximo: 22 [L/min]
- Altura máxima: 4,1 [m]

Funciones

- Hacer circular el líquido de trabajo en todas las etapas de elaboración de cerveza.

Ventajas:

- Se reduce el tiempo total de elaboración al combinar las etapas de maceración, lavado y recirculado.
- Se distribuye de forma homogénea la temperatura del jugo al estar en constante movimiento.
- Se logra una mejor extracción de los azúcares provenientes de la cebada.

Desventajas

- Es el elemento más delicado del diseño, por lo que el usuario debe realizar las mantenciones pertinentes.
- Eleva en gran medida el costo del diseño (Correspondiente al 18 % del costo total)

4.2.4 Enfriador de placas

Uno de los objetivos más importantes es reducir el tiempo total de elaboración de cerveza. Mediante el intercambiador de placas se puede lograr esto reduciendo el tiempo en la etapa de enfriamiento.

Como se mencionó anteriormente, un tiempo óptimo para esta etapa es de 5 minutos (un menor tiempo de enfriamiento implica un mayor costo de inversión). Para este diseño se optó por un enfriador de placas marca Wort Chiller modelo P30 [10], el cual es capaz de enfriar 60 [L] de cerveza desde los 100° [C] hasta los 20° [C] en 10 minutos (*Figura 4.10*).



Figura 4.10. Enfriador de placas Wort Chiller P30 del sistema de válvulas.

Funciones:

- Enfriar el líquido de trabajo en la etapa de enfriamiento.

Ventajas:

- Disminuye el tiempo utilizado en la etapa de enfriamiento.

Desventajas:

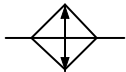
- Es el elemento que más impacta en el costo del diseño (Correspondiente al 19 % del costo total)
- Condiciona el tamaño mínimo de la bomba debido a la resistencia que opone al flujo en la etapa de enfriamiento.

4.2.5 Sistema de válvulas

Otra de las mejoras que reduce el tiempo total de elaboración de cerveza artesanal es la incorporación de un sistema de válvulas, el cual permite realizar las etapas de maceración/recirculado/lavado, enfriado y traspaso al fermentador (que básicamente sería un estanque) de una manera más rápida y simple.

Para realizar este circuito hidráulico, se necesitaron componentes sencillos (*Tabla 4.1*) que permitan una circulación selectiva dependiendo de la etapa de elaboración en la que se encuentre. Las tuberías y válvulas se cotizaron en la empresa Saneamador [11].

Tabla 4.1. Componentes del sistema de válvulas.

Descripción	Simbología	Cantidad
Válvula de cierre		5
Intercambiador de placas (enfriador)		1
Bomba centrífuga		1
Olla principal		1
Fermentador (tanque)		1

Este circuito comienza su funcionamiento en la etapa de maceración/recirculado/lavado en donde mediante la bomba se realiza una constante circulación del jugo. En la *Figura 4.11* se puede apreciar el esquema del circuito hidráulico con cada uno de sus componentes y en la *Figura 4.12* su diseño. Además, se muestra el porcentaje de abertura de las válvulas de cierre, el cual indica si están totalmente cerradas (0 %) o totalmente abiertas (100 %).

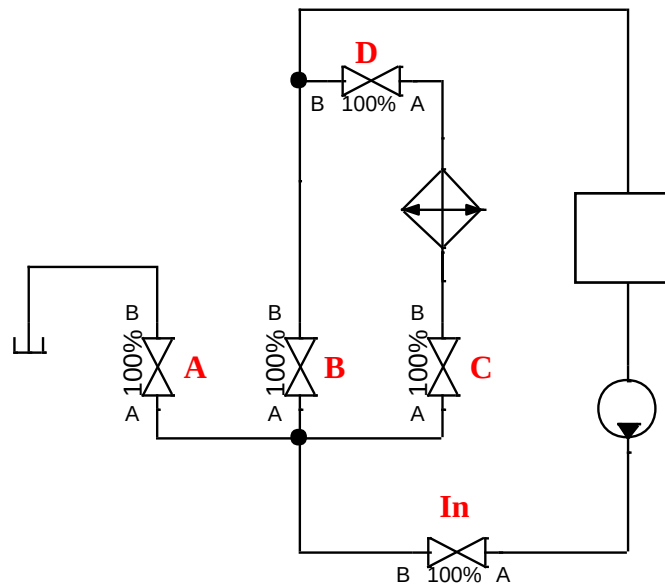


Figura 4.11. Esquema del circuito hidráulico del sistema de válvulas. Se muestran las válvulas de cierre con sus respectivos nombres y porcentajes de abertura.

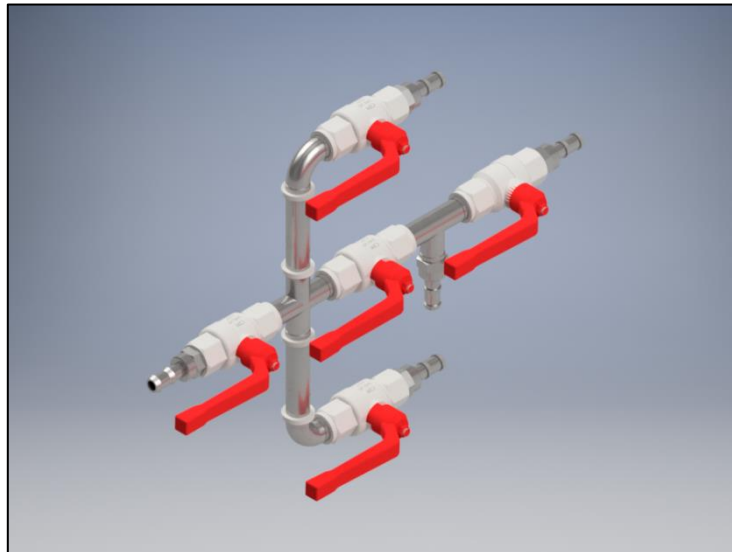


Figura 4.12. Diseño del sistema de válvulas.

En este esquema, se inicia la circulación en la olla, con un sentido horario, desde la cual se aspira el fluido de trabajo (el jugo de la cerveza) mediante la bomba centrífuga.

Posterior a la bomba se encuentra la primera válvula de cierre, llamada válvula “In”, la cual tiene como función regular manualmente el caudal de salida de la bomba centrífuga. Esta válvula permite reducir el caudal del flujo a los 5 [L/min] recomendados para la etapa de centrifugado y lavado con una abertura aproximada del 22 %.

A continuación, existen cuatro válvulas de cierre que dan lugar a las distintas etapas del proceso de elaboración de cerveza. Dependiendo de la abertura de estas válvulas es la etapa que se realizará:

- **Opción de maceración:** válvulas A, C y D cerradas y válvula B abierta. En este caso el flujo sigue una trayectoria simple, comenzando su recorrido en la olla y pasando por las válvulas In y B para finalizar nuevamente en la olla. En la *Figura 4.13* se puede apreciar por donde circula el líquido (línea morada), los elementos que atraviesa (flechas negras) y el porcentaje de abertura de cada válvula de cierre.

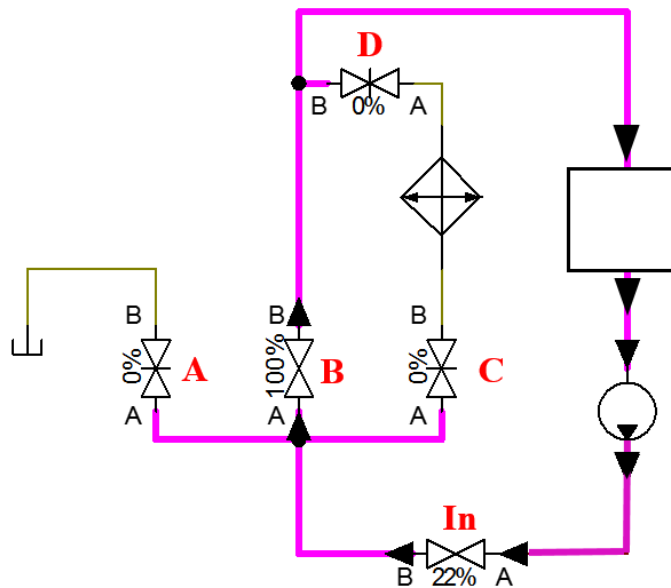


Figura 4.13. Esquema del sistema de válvulas para la opción de maceración.

- **Opción de enfriamiento:** válvulas A y B cerradas y válvulas C y D abiertas. En este caso el flujo pasa por el enfriador de placas que está entre las válvulas C y D (Figura 4.14) para enfriar el líquido de trabajo hasta la temperatura deseada ($20^{\circ} [C]$). La válvula B evita que el líquido se devuelva hacia la bomba.

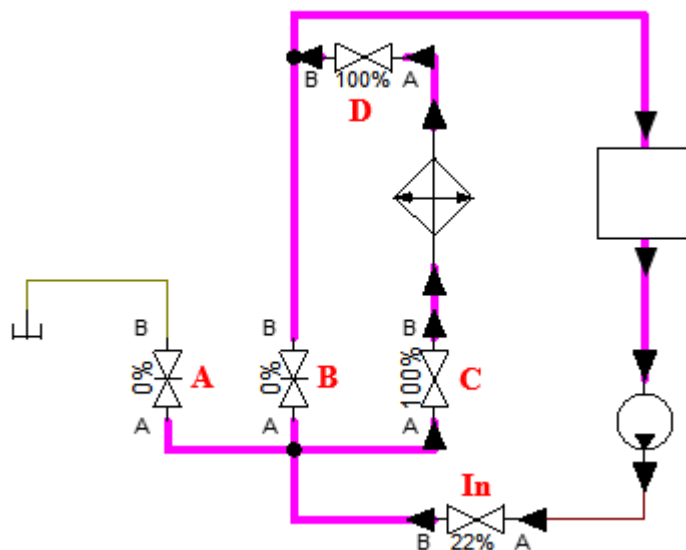


Figura 4.14. Esquema del sistema de válvulas para la opción de enfriamiento.

- **Opción de vaciado:** Válvula A abierta y Válvulas B, C y D cerradas. Se vacía todo el líquido de trabajo desde la olla hasta el fermentador (Figura 4.15)

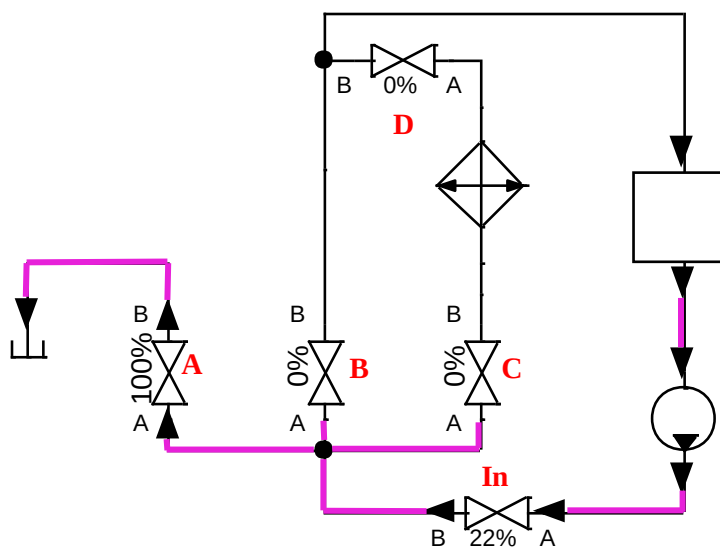


Figura 4.15. Esquema del sistema de válvulas para la opción de vaciado.

Funciones del sistema de válvulas:

- Circular el líquido de trabajo en las etapas que lo requieran.

Ventajas:

- Permite el movimiento del fluido en todo momento durante la etapa de Maceración/recirculado/lavado, logrando temperaturas homogéneas y aprovechando todos los azúcares provenientes de la cebada.
- Permite un enfriamiento más rápido del jugo en la etapa de enfriamiento.
- Permite un vaciado al fermentador más rápido.
- Logra circular el jugo sin la necesidad de trasvasiar entre ollas.
- Simplifica la manera de pasar de una etapa a otra.
- Utiliza elementos de fácil manipulación.

Desventajas:

- Aumenta el costo del diseño (correspondiente al 14 % del costo total)

4.3 Resultado final del diseño y explicación del proceso.

En esta última parte del capítulo se explicará el nuevo proceso de elaboración de cerveza utilizando el diseño final del equipo cervecero. En la *Figura 4.16* se puede apreciar la estructura soportando las ollas principal y secundaria y todos los demás elementos seleccionados.

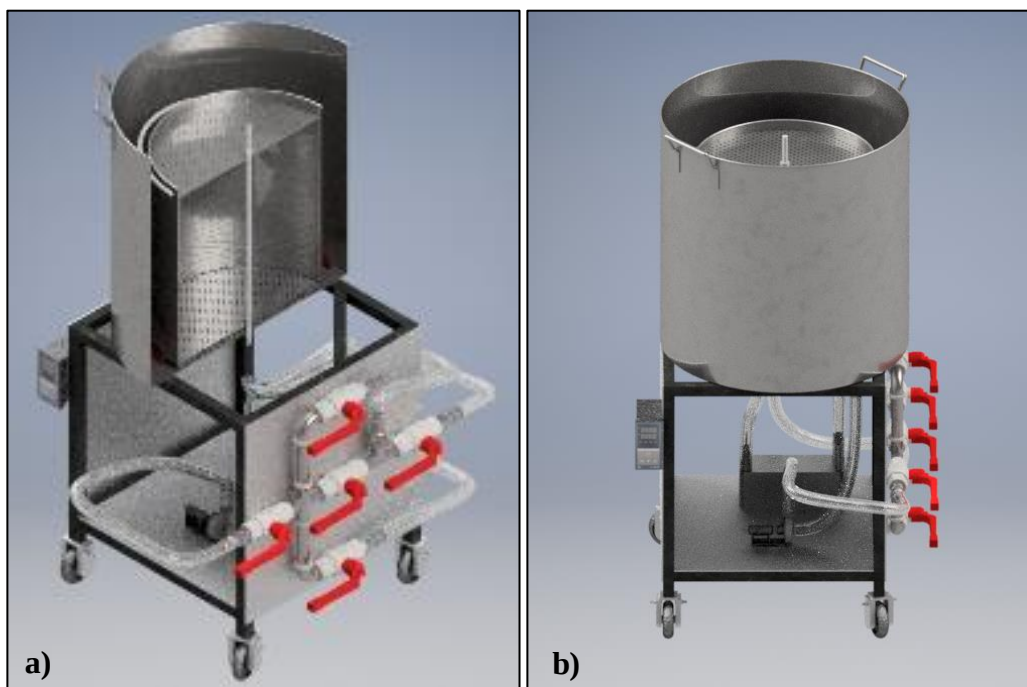


Figura 4.16. Diseño final del equipo cervecero. a) Vista isométrica del diseño. Se muestran las ollas principal y secundaria (con un corte transversal) y el sistema de válvulas. b) Vista frontal del diseño. Se muestran los demás elementos de la estructura.

Las medidas generales del equipo tanto como de sus elementos principales se pueden encontrar en el *Anexo H. Medidas generales del modelo*.

4.3.1 Preparación

Para comenzar el proceso de elaboración de cerveza primero que todo se deben preparar los insumos que se utilizarán. Los lúpulos, cebada y levaduras se deben preparar según lo descrito en el *capítulo 2.4.1*.

Entonces, se vierte aproximadamente 30 [L] de agua en la olla principal y se calienta a la temperatura deseada (Generalmente 67° [C] según las recetas) utilizando el serpentín eléctrico y el regulador de temperatura (*Figura 4.17*). La olla secundaria se instalará más tarde junto con la cebada en la etapa de maceración.

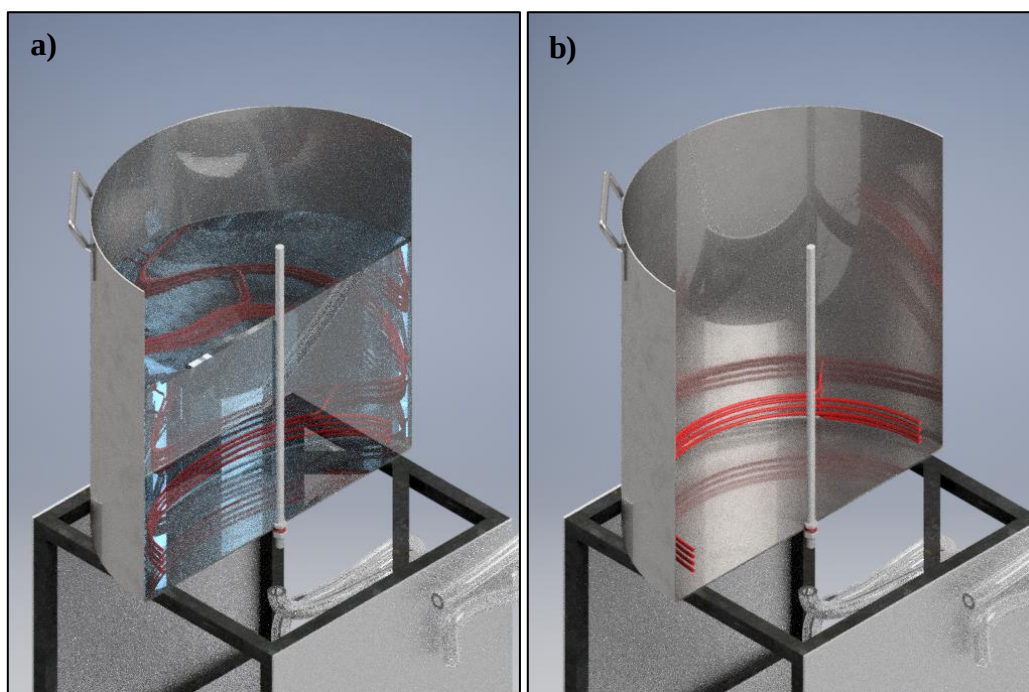


Figura 4.17. Vista superior del calentamiento del agua en la etapa de preparación. a) Representación gráfica del equipo con agua. b) Representación gráfica del equipo sin agua.

4.3.2 Maceración/Recirculación/Lavado

Una vez que los insumos están preparados y el agua tiene la temperatura correcta según receta, se instala la olla secundaria sobre la olla principal para luego añadir la cebada que se utilizará en el proceso. Para esto es importante utilizar el vástago central como guía y la tuerca de acero inoxidable de la zona superior de la olla secundaria para evitar que la cebada y el filtro superior se escapen cuando circule el líquido (*Figura 4.18*). Cabe recalcar que en la figura se exageró la densidad de la cebada para una mejor visualización del proceso. El peso aproximado de la olla secundaria es de 3 [kg] y de la cebada de 6 [kg].

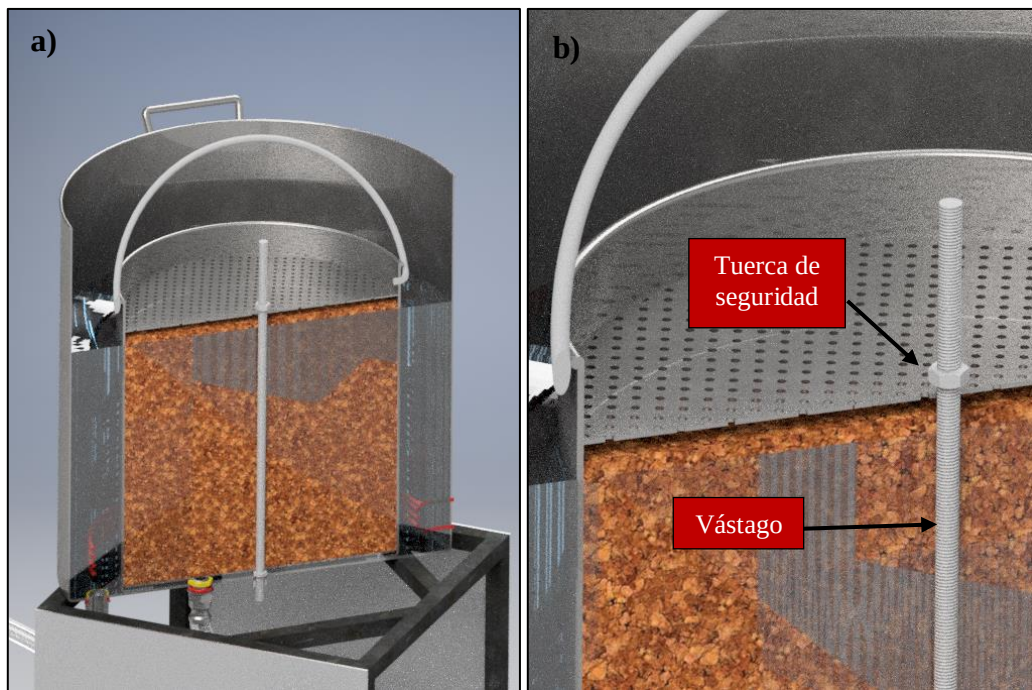


Figura 4.18. Vista en corte de la etapa de maceración. a) Representación gráfica de la cebada al interior de la olla secundaria. b) Tuerca de seguridad del filtro superior de la olla secundaria y vástago central.

Además, es importante que la olla secundaria quede correctamente ajustada a la olla principal en la zona inferior (*Figura 4.21*), de esta manera se asegura una correcta circulación del líquido en las etapas siguientes. Este ajuste permite la separación del líquido en dos zonas; una al interior de la olla secundaria y otra en el exterior, lo que a su vez permite la circulación del líquido utilizando la bomba centrífuga.

Cabe mencionar que el vástago está fijo a la olla principal mediante tuercas de apriete de acero inoxidable y una golilla de goma que evita fugas.

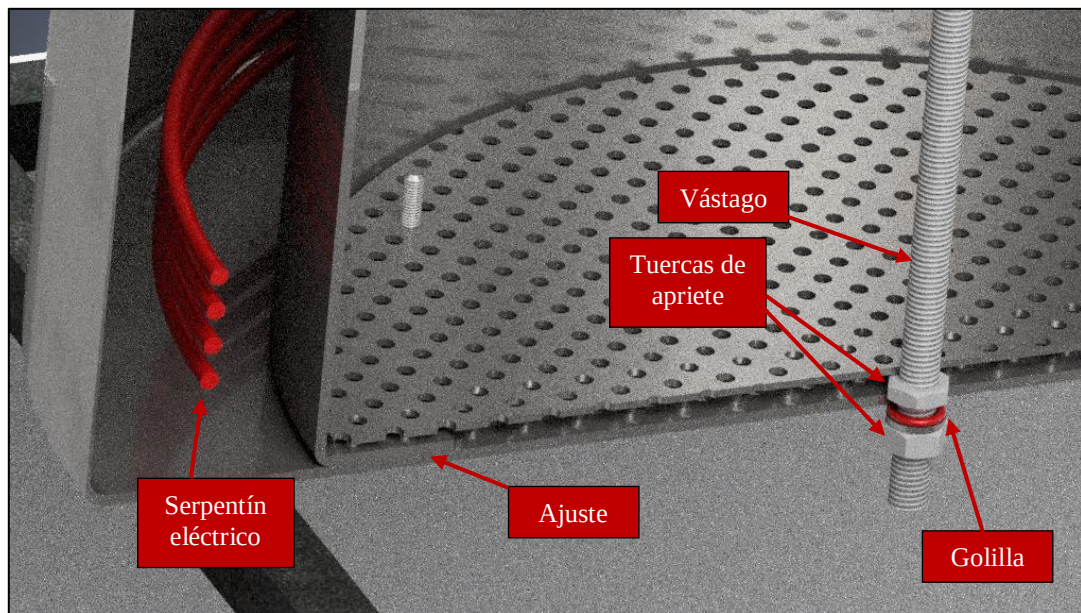


Figura 4.19. Ajuste de la olla secundaria sobre la olla principal. Se omite la visibilidad del agua y la cebada.

Luego, se debe configurar el sistema de válvulas para la *opción de maceración* como se muestra en la Figura 4.20. De esta manera se logrará una circulación constante del agua para un mezclado homogéneo.

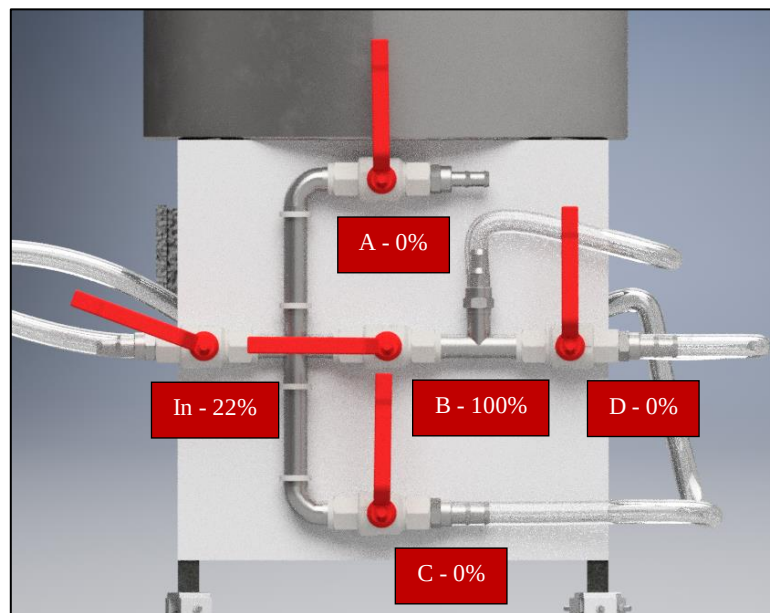


Figura 4.20. Configuración del sistema de válvulas para la opción de maceración. Se muestran nombres y porcentajes de apertura de cada válvula de cierre.

La forma en la que el líquido circula es ingresando por la zona inferior de la olla secundaria, rebalsándola y saliendo por la zona inferior de la olla principal como se muestra en la *Figura 4.21*. Esto se logra gracias al empuje que otorga la bomba centrífuga y a la separación del agua mediante el ajuste de las ollas.

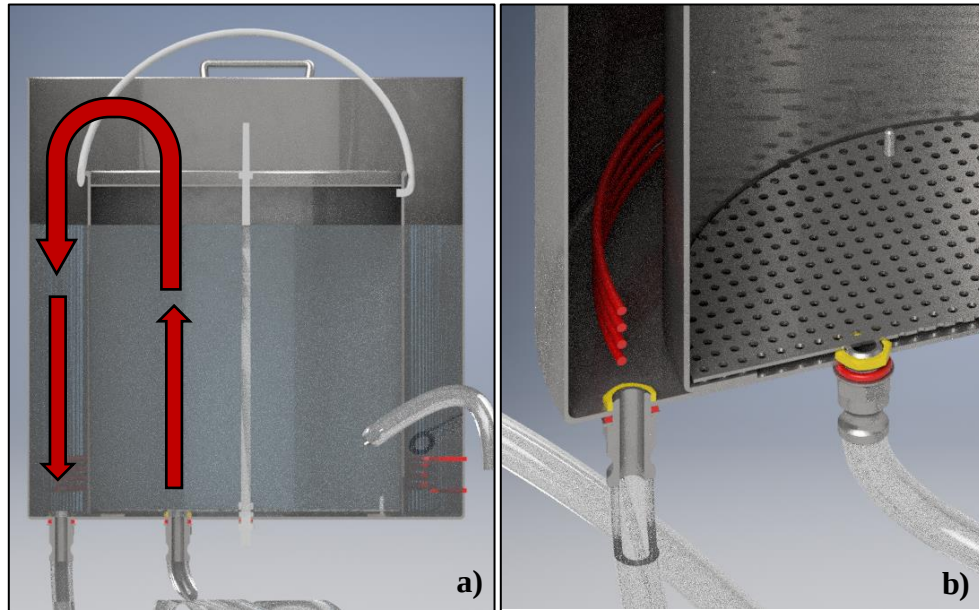


Figura 4.21. Circulación del líquido a través de las ollas. a) Vista frontal de la dirección del flujo. b) Vista superior de la entrada y salida del flujo.

Cabe recordar que el regulador de temperatura está funcionando en todo momento para mantener una temperatura constante (si se eligió el macerado simple) o para variar la temperatura ascendentemente (si se eligió el macerado escalonado).

Una vez finalizada esta etapa, se procede a retirar la olla secundaria con la cebada en su interior, lo cual tiene un peso aproximado de 10 *kg*. Los filtros inferior y superior de la olla secundaria permiten que la cebada se mantenga en su interior y que el líquido utilizado se quede en la olla principal.

4.3.3 Cocción

Luego de retirar la olla secundaria junto con la cebada utilizada, se procede a hervir el jugo de la cerveza en la olla principal. Se le deben añadir los lúpulos correspondientes y utilizar el regulador de temperatura para mantener la temperatura adecuada según receta.

4.3.4 Decantado

Esta etapa no presenta cambios con respecto a lo explicado en el *capítulo 3.4.4*. Se debe revolver manualmente el líquido en la olla principal para decantar las partículas en suspensión.

4.3.5 Enfriado

Una vez terminada la etapa de decantado, se procede a enfriar el líquido según lo explicado en el *capítulo 2.4.7*. Para esto, se debe utilizar la bomba centrífuga y configurar el sistema de válvulas para la *opción de enfriamiento* como se muestra en la *Figura 4.22*. De esta manera se modificará la dirección del flujo para que pase por el enfriador de placas seleccionado.

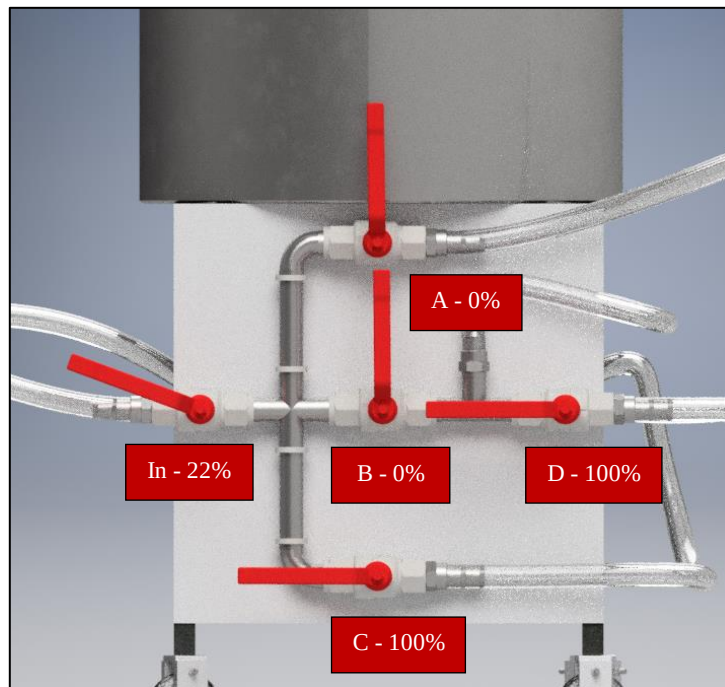


Figura 4.22. Configuración del sistema de válvulas para la opción de enfriamiento. Se muestran los nombres y porcentajes de apertura de cada válvula de cierre.

4.3.6 Fermentación

Cuando el líquido alcanza la temperatura óptima de fermentación, se procede a vaciar todo el jugo de cerveza de la olla principal en el fermentador. Para realizar esto, se debe por última vez configurar el sistema de las válvulas para la *opción de vaciado* como se muestra en la *Figura 4.23*. Es recomendable utilizar la válvula de cierre “In” para regular el caudal de salida.

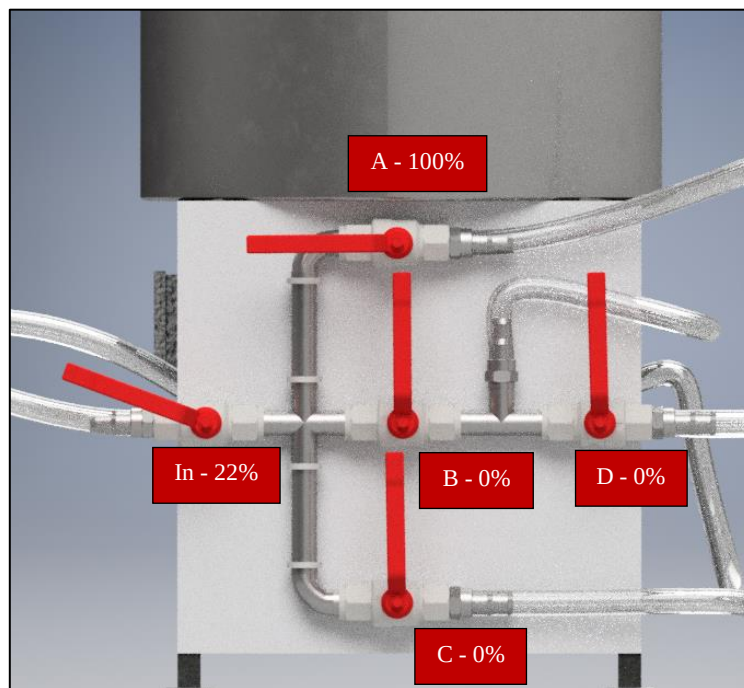


Figura 4.23. Configuración del sistema de válvulas para la opción de vaciado. Se muestran los nombres y porcentajes de abertura de cada válvula de cierre.

El proceso de medición de densidades, cálculo de grado alcohólico y gasificación es el mismo explicado en el *capítulo 2.4.8*.

5 Capítulo 5: Conclusiones

La finalidad de este trabajo es el cumplimiento de un objetivo general y cuatro objetivos específicos. Como se vio a lo largo de los capítulos, el diseño de un prototipo nunca está ajeno a ciertos riesgos asociados al diseño y su construcción. Como no se hizo alcances en la construcción del equipo, es de vital importancia que el diseño esté detalladamente calculado y verificado.

Con respecto a cada uno de los objetivos específicos planteados en la memoria, se tiene lo siguiente:

“Identificar, evaluar y reducir las posibles etapas y/o equipos dentro del proceso general de elaboración de cerveza artesanal que son poco eficientes o innecesarios”

El cumplimiento de este objetivo es sin duda el primer paso y el más importante para la realización del diseño de un equipo cervecero, ya que desde el análisis del proceso de elaboración tradicional de cerveza es que se pueden realizar mejoras. En total, se cuenta con 8 etapas de las cuales se llegó a la conclusión que ninguna era innecesaria a pesar de que algunas eran cortas y de fácil ejecución.

Dentro del proceso tradicional de elaboración de cerveza, se identificaron 4 etapas que eran poco eficientes en cuanto al uso del tiempo y de los recursos: maceración, recirculación, lavado y enfriamiento. Las tres primeras se fusionaron para aprovechar las nuevas capacidades del equipo diseñado y la etapa de enfriamiento obtuvo una reducción del tiempo gracias a las nuevas tecnologías añadidas.

Por otro lado, se eliminaron dos ollas del proceso tradicional para permitir la elaboración de cerveza en un único equipo. Además, se modificó la estructura principal que soporta los equipos para reducir el espacio utilizado y entregar una mayor movilidad.

“Modificar el proceso de elaboración de cerveza artesanal para que incluya las mejoras descritas anteriormente.”

De las 8 etapas que constituyen el proceso de elaboración de cerveza, se fusionaron las etapas de maceración, recirculación y lavado en una sola. Con esto se modifica el proceso para que contemple un total de 6 etapas.

Esta nueva etapa de maceración/recirculado/lavado funciona gracias a la implementación de una bomba centrífuga que permite la circulación del líquido en todo momento. Por otro lado, la etapa de enfriamiento, aunque no se vio modificada, sí tuvo una mejora en el tiempo utilizado gracias a la implementación de un intercambiador de placas.

“Desarrollar el diseño de un equipo que utilice el proceso modificado anteriormente y que permita reducir el costo, el espacio utilizado y el tiempo empleado en la elaboración de cerveza artesanal.”

Las condiciones bases fueron dadas en la selección de alternativas. Con una alternativa seleccionada se realizó el diseño del equipo a lo largo de todo el *Capítulo 4: Diseño del equipo único de fabricación de cerveza*.

Con esto, se pueden establecer cifras cuantitativas con respecto a lo exigido en este objetivo y que se pueden apreciar con mayor detalle en el *Anexo G. Cálculo de conclusiones cuantitativas.*:

En cuanto a costos, se realizó una cotización preliminar para las alternativas de rediseño, en donde la alternativa seleccionada resultó ser un 23% más costosa que la forma tradicional. Esto es explicado de una manera muy sencilla: el hecho de añadir instrumentos y tecnologías que permitan un proceso más exacto y veloz, implica invertir en estas mejoras. Mas tarde junto al diseño, se realizó una cotización más detallada de los elementos necesarios gracias a que se tienen los requerimientos y condiciones de trabajo del equipo. El equipo final resultó ser un 5 % más costoso que su forma tradicional.

En cuanto al espacio, si se obtuvo una gran mejora con respecto al proceso tradicional de elaboración de cerveza, reduciéndolo en un 75 %. Esto es debido a la reducción de los equipos (ollas principalmente) y a la nueva estructura capaz de almacenar todos los elementos utilizados, la cual también ocupa menos espacio.

En cuanto al tiempo empleado, también se obtuvo una gran mejora con respecto al proceso tradicional de elaboración de cerveza, el cual disminuyó en un 33 %. Esto gracias a las tecnologías descritas anteriormente que permitieron reducir los tiempos muertos entre etapas y tiempos de etapas, principalmente la de enfriamiento.

“Añadir instrumentos y/o tecnologías que ayuden a realizar un proceso más exacto y preciso.”

Con la modificación del proceso de elaboración de cerveza, también se añadieron nuevas tecnologías que permiten un proceso más exacto y veloz. Las primeras de ellas en actuar al momento de elaborar cerveza artesanal son el regulador de temperatura y el serpentín eléctrico, los cuales permiten un calentamiento de agua de forma homogénea y con un error de $\pm 2,7^{\circ} [C]$. Además, se añadieron una bomba centrífuga y un sistema de válvulas que permiten una circulación selectiva por todos los componentes dependiendo de la etapa de elaboración en la que se encuentra. Finalmente se añadió un enfriador de placas que permite una reducción del 83 % del tiempo en la etapa de enfriamiento.

Con respecto al objetivo general:

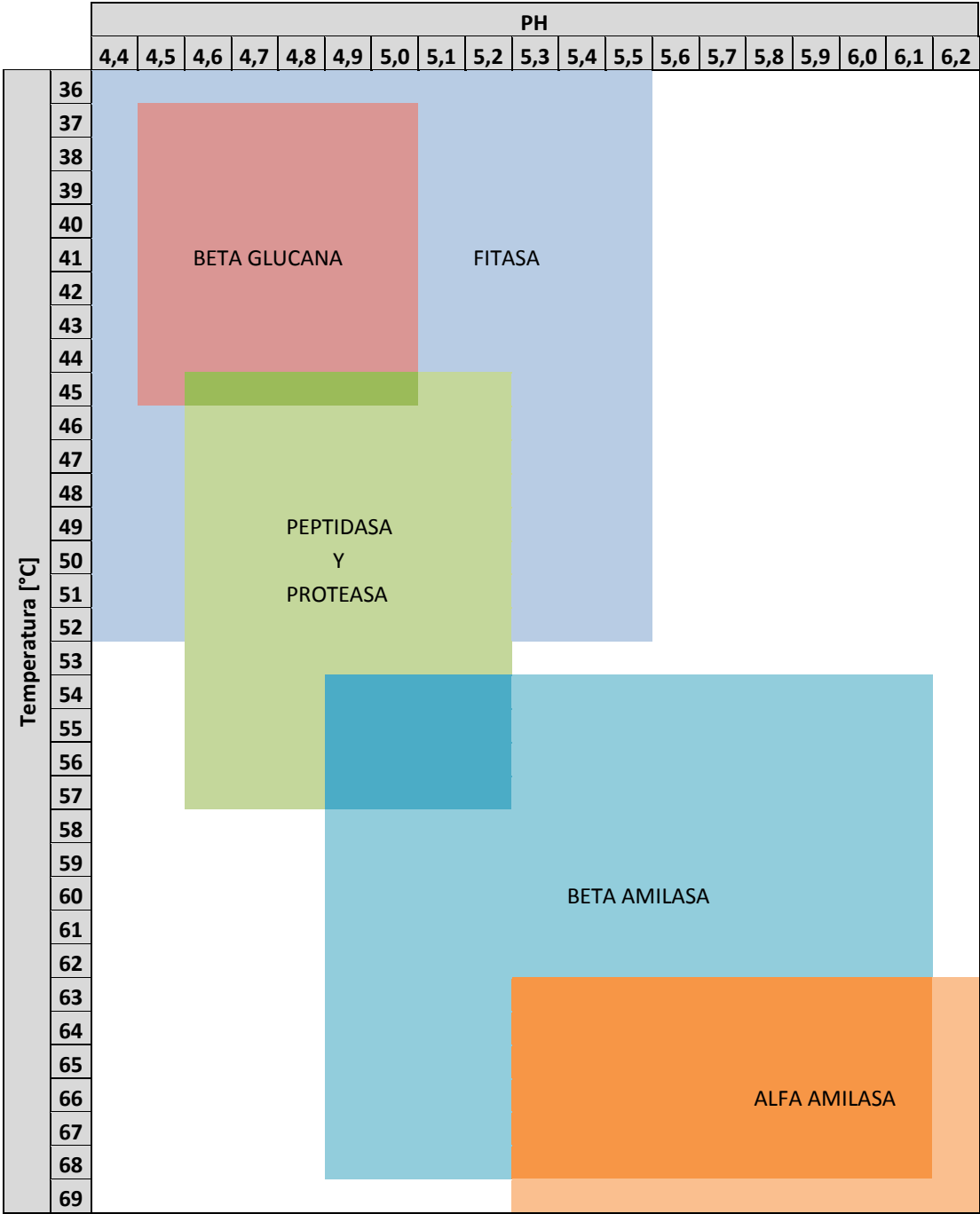
“Desarrollar el diseño de un equipo para reducir tiempo, espacio y equipos utilizados en el proceso de elaboración de cerveza artesanal.”

Gracias al estudio del proceso de elaboración de cerveza, su análisis y a la identificación de los procesos que pueden ser modificados, se logró desarrollar un diseño que disminuye tiempo y espacio en la elaboración de cerveza artesanal a costa de una mayor inversión. Todo el trabajo se realizó tomando decisiones cuantitativas que justifican la implementación de mejoras y tecnologías.

Anexos

A. Anexo A. Enzimas creadas por la cebada en la etapa de maceración.

Tabla A.1. Enzimas creadas en la etapa de maceración.



Fuente: Extracto de [4]

B. Anexo B. Pesos relativos y absolutos entre subcategorías de los objetivos de los atributos de las necesidades del cliente.

Tabla B.1. Cálculo de pesos absolutos entre subcategorías de objetivos.

Subcategoría	Apariencia	Seguridad	Costo	Desempeño	Suma fila	Peso absoluto
Apariencia	1,00	0,60	0,20	0,15	1,95	3,70%
Seguridad	1,67	1,00	0,10	0,05	2,82	5,35%
Costo	5,00	10,00	1,00	0,25	16,25	30,84%
Desempeño	6,67	20,00	4,00	1,00	31,67	60,11%
Total					52,68	100,00%

Tabla B.2. Cálculo de pesos en la apariencia.

Apariencia					
Criterio	1	2	Suma fila	Peso relativo	Peso absoluto
1	1,00	0,75	1,75	42,86%	1,59%
2	1,33	1,00	2,33	57,14%	2,12%
Total			4,08	100,00%	3,70%

Tabla B.3. Cálculo de pesos en la seguridad.

Seguridad				
Criterio	1	Suma fila	Peso relativo	Peso absoluto
1	1,00	1,00	100,00%	5,35%
Total		1,00	100,00%	5,35%

Tabla B.4. Cálculo de pesos en los costos.

Costos					
Criterio	1	2	Suma fila	Peso relativo	Peso absoluto
1	1,00	1,00	2,00	50,00%	15,42%
2	1,00	1,00	2,00	50,00%	15,42%
Total			4,00	100,00%	30,84%

Tabla B.5. Cálculo de pesos en el desempeño.

Desempeño														
Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Suma fila	Peso relativo	Peso absoluto
1	1,00	3,00	3,00	3,00	2,00	1,50	3,00	2,00	3,00	1,50	1,00	24,00	17,18%	10,33%
2	0,33	1,00	1,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,75	1,00	0,50	0,75	8,33	5,97%	3,59%
3	0,33	0,67	1,00	0,75	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	8,75	6,26%	3,77%
4	0,33	2,00	1,33	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	2,00	1,50	0,50	13,67	9,78%	5,88%
5	0,50	2,00	1,33	1,00	1,00	1,00	2,00	1,50	2,00	1,20	0,50	14,03	10,05%	6,04%
6	0,67	2,00	1,33	1,00	1,00	1,00	2,00	1,50	1,75	1,20	0,25	13,70	9,81%	5,89%
7	0,33	1,00	1,00	0,67	0,50	0,50	1,00	0,75	1,00	0,75	0,50	8,00	5,73%	3,44%
8	0,50	1,33	1,00	0,67	0,67	0,67	1,33	1,00	1,50	0,85	0,85	10,37	7,42%	4,46%
9	0,33	1,00	1,00	0,50	0,50	0,57	1,00	0,67	1,00	0,50	0,75	7,82	5,60%	3,37%
10	0,67	2,00	1,33	0,67	0,83	0,83	1,33	1,18	2,00	1,00	1,00	12,84	9,19%	5,53%
11	1,00	1,33	1,33	2,00	2,00	4,00	2,00	1,18	1,33	1,00	1,00	18,18	13,01%	7,82%
Total												139,69	100,00%	60,11%

C. Anexo C. Matriz de decisión de alternativas de rediseño.

Tabla C.1. Matriz de decisión de las alternativas de rediseño. Escala de 1 a 9.

Matriz de decisión							
Criterio de selección	Peso	Alternativa base		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Tasa	Puntaje	Tasa	Puntaje	Tasa	Puntaje
Elementos visiblemente organizados	1,59%	5	0,08	5	0,08	6	0,10
Agradable a la vista	2,12%	5	0,11	5	0,11	8	0,17
No poseer bordes filosos o inseguros	5,35%	5	0,27	6	0,32	9	0,48
Costo de estructura asequible	15,42%	5	0,77	6	0,93	4	0,62
Costo de equipos asequible	15,42%	5	0,77	6	0,93	5	0,77
Uso adecuado de los recursos	10,33%	5	0,52	6	0,62	9	0,93
Peso adecuado de la estructura	3,59%	5	0,18	6	0,22	7	0,25
Rigidez adecuada de la estructura	3,77%	5	0,19	4	0,15	7	0,26
Fácil manipulación de la estructura	5,88%	5	0,29	6	0,35	7	0,41
Fácil movilidad de la estructura	6,04%	5	0,30	7	0,42	9	0,54
Estructura resistente a golpes	5,89%	5	0,29	6	0,35	6	0,35
Baja mantención	3,44%	5	0,17	6	0,21	6	0,21
Disponibilidad de tamaños	4,46%	5	0,22	5	0,22	8	0,36
Larga vida útil de los equipos	3,37%	5	0,17	6	0,20	6	0,20
Preciso control de variables	5,53%	5	0,28	5	0,28	9	0,50
Bajos tiempos entre etapas	7,82%	5	0,39	7	0,55	9	0,70
Total	100,00 %	5,00		5,93		6,85	

D. Anexo D. Cotización de equipos y herramientas.

Tabla D.1. Cotización preliminar de los equipos y herramientas utilizados en la fabricación de cerveza artesanal para las alternativas de rediseño.

Equipo	Precio unitario (CLP)	Especificaciones
Olla + válvula y salida 1/2" acero inoxidable	\$ 43.900	Material: Acero inoxidable
		Capacidad: 20 [L]
		Espesor: 1 [mm]
Olla + válvula y salida 1/2" acero inoxidable	\$ 55.900	Material: Acero inoxidable
		Capacidad: 45 [L]
		Espesor: 1 [mm]
Falso fondo	\$ 27.900	Material: Acero inoxidable
Llave de paso	\$ 5.000	Capacidad: 25-35 [L]
Estructura básica	\$ 80.000	Material: Acero Estructural
		Alto: 1,2 [m]
		Ancho: 0,9 [m]
		Largo: 1,2 [m]
Quemador a gas	\$ 43.900	Consumo T° nominal 6,3 [kw]
		Consumo nom. Gas Licuado 0,459 [kg/h]
		Consumo nom. Gas Natural 0,602 [m3/h]
		Capacidad: 60 [L]
		Dimensiones: 38 x 38 x 75 [cm]
Conector rápido	\$ 4.165	Material: Acero inoxidable
Manguera	\$ 2.000	Certificado sanitario
		Temperatura máx.: 120 ° [C]
Termómetro alcohol	\$ 2.500	Tipo: análogo
		Rango: -10-110° [C]
Densímetro mosto cerveza	\$ 10.500	Rango: 900 a 1.120 [kg/cm³]
Bomba centrífuga	\$ 19.900	Flujo máximo: 13,3 [L/min]
		Altura máxima: 5 [m]
		Voltaje: DC 24 [V]
		Potencia: 22 [W]
Serpentín cobre + conector rápido	\$ 32.900	Material: Cobre
		Diámetro: 3/8 [pulg]
		Largo: 8 [m]
Fermentador + válvula	\$ 20.900	Material: Plástico
		Capacidad: 25 [L]

Gas	\$ 25.000	Capacidad: 5 [kg]
		Material: Vidrio
Probeta	\$ 6.500	Capacidad: 250 [mL]
Jarra	\$ 5.000	Capacidad: 1,5 [L]
Cucharón	\$ 15.000	Material: Acero inoxidable
		Capacidad: 10 [L/min]
Enfriador de placas	\$ 226.100	Dimensiones: 20 x 10 x 7 [cm]

Fuente. <http://www.cervezawittwer.cl/catalogo/insumos/>

Tabla D.2. Cotización de equipos y tecnologías para el resultado final del diseño.

Sección	Cant.	Elemento	Descripción	Costo unitario [CLP]	Costo Total [CLP]	Peso
Estructura	1	Estructura	Material: Acero estructural	\$ 40.000	\$ 40.000	8%
	2	Rueda sin freno	Marca: Rodani	\$ 5.500	\$ 11.000	2%
			Modelo: 73060			
	2	Rueda con freno	Marca: Rodani	\$ 6.900	\$ 13.800	3%
			Modelo: 73070			
Ollas	1	Olla principal	Material Acero inoxidable	\$ 57.127	\$ 57.127	12%
			Capacidad: 50 [L]			
			Marca: Imahe			
	1	Olla Secundaria	Material Acero inoxidable	\$ 45.432	\$ 45.433	9%
			Capacidad: 34 [L]			
			Marca: Imahe			
	2	Filtro olla secundaria	Material Acero inoxidable	\$ 18.500	\$ 37.000	8%
			Marca: Imahe			
Tecnologías	1	Serpentín eléctrico	Material: Acero inoxidable AISI 304 niquelado	\$ 24.000	\$ 24.000	5%
			Marca: Fabrestel			
			Modelo: A pedido.			
	1	Regulador de temperatura	Marca: RKC	\$ 8.900	\$ 8.901	2%
			Modelo: REX-C400			
	1	Bomba centrífuga	Marca: Chugger Pump	\$ 87.000	\$ 87.001	18%
			Modelo: CPSS-IN-1			
	1	Enfriador de placas	Marca: Wort Chiller	\$ 95.000	\$ 95.001	19%
			Modelo: P30			
Sistema de válvulas	5	Válvula de cierre	Marca: Genebre	\$ 2.500	\$ 12.500	3%
			Modelo: 1/2"			
	-	Tuberías	Material: Acero inoxidable	\$ 35.000	\$ 35.000	7%
	1	fermentador	Marca: Speidel Modelo: 30L	\$ 20.900	\$ 20.900	4%
					\$ 487.663	100%

Fuente: datos recuperados de [5], [6], [7], [8], [9], [10] y [11].

E. Anexo E. Tiempos de etapas

Tabla E.1. Tiempos aproximados de cada etapa de la elaboración de cerveza artesanal.

Proceso	Tiempo [min]		
	Alternativa base	Alternativa 1	Alternativa 2
Preparación	75	75	60
Maceración	90	90	90
Recirculación	15	15	0
Lavado	15	0	0
Cocción	90	90	75
Decantado	10	10	10
Enfriado	30	30	5
Fermentado	0	0	0
Tiempos muertos	60	50	15
Total [min]	385	360	255
Total [hrs]	6,42	6,00	4,25

Fuente. http://almacencervecero.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=31&Itemid=9

F. Anexo F. Cálculo de la bomba centrífuga.

Para realizar una correcta elección de la bomba centrífuga se debe realizar el cálculo de la altura total del sistema que necesita esta para su funcionamiento [12].

La altura total del sistema H_A viene dada por la ecuación:

$$H_A = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{c_2 - c_1}{\rho \cdot g} + z_2 - z_1 + H_V$$

Donde:

- H_A = Altura total del sistema [m]
- $p_2 - p_1$ = Diferencia de presión a la entrada/salida [Pa]
- $c_2 - c_1$ = Diferencia de velocidad del fluido a la entrada/salida [m/s]
- $z_2 - z_1$ = Diferencia de altura geográfica [m]
- $\rho \cdot g$ = Producto de la densidad del fluido por la constante de gravedad
- H_V = Pérdidas de energía del sistema [m]

En esta aplicación, se puede considerar que la diferencia de presión es nula, ya que la entrada y salida del líquido están a la misma altura geográfica. Además, las ollas están abiertas por lo que están sometidas a la misma presión atmosférica (esto se puede apreciar en la *Figura 4.21*).

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} = 0$$

La altura estática está dada por la diferencia entre el punto de succión y la zona superior de la olla.

$$z_2 - z_1 = 1 \text{ [m]}$$

La diferencia de velocidades es considerada cero debido a la corta longitud del sistema de válvulas, a que el caudal se mantiene constante y que la sección de la entrada y salida son la misma.

$$\frac{c_2 - c_1}{\rho \cdot g} = 0$$

Finalmente, se deben realizar varias consideraciones para el cálculo de las pérdidas de carga debido a las resistencias del sistema.

Primero, se realiza un cálculo de la pérdida de carga por cañerías lineales, utilizando la ecuación de Fanning [12] y calculando el número de Reynolds para establecer cuál es el comportamiento del flujo:

$$H_V = \left(\frac{4 \cdot f \cdot L}{d} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

Donde:

- H_V = Altura por pérdida de cargas en cañerías lineales [m]
- f = Constante de Fanning [–]
- L = Largo total de la cañería [m]
- d = Diámetro de la cañería [m^2]
- v = Velocidad media del fluido [m/s]
- Re = Número de Reynolds [–]
- μ = Viscosidad dinámica del fluido [Pa.s]

Como se mencionó anteriormente, el caudal recomendado es de $Q = 5 [L/min]$, por lo que la velocidad media del fluido en una cañería con un diámetro de $d = \frac{1}{2} [in] = 0,0127 [m]$ es de:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{8,33 \cdot 10^{-5} [m^3/s]}{1,26 \cdot 10^{-4} [m^2]} = 0,65 [m/s]$$

Además, se considera que el fluido transportado es similar al agua (ya que la función de los filtros de la olla secundaria es permitir solo el paso del agua con las propiedades de la cebada) y por lo tanto se tienen las siguientes características:

- Viscosidad dinámica del agua a 50° [C]

$$\mu = 5,47 \cdot 10^{-4} [Pa.s]$$

- Densidad del mosto a 50°

$$\rho = 1050 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Con esto se puede calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{0,0127 [m] \cdot 0,65 [m/s] \cdot 1050 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{5,47 \cdot 10^{-4} [Pa \cdot s]} = 15.845 [-]$$

Con esto se puede concluir que el flujo tiene un régimen turbulento, por lo que se busca un factor de Fanning f utilizando los diagramas de Moody [12] para flujos turbulentos. Para esto primero se calcula la relación $\frac{\varepsilon}{d}$ utilizando la *Tabla F.1*.

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,03 \cdot 10^{-3} [m]}{0,0127 [m]} = 0,0023 [-]$$

Con esta relación y utilizando el diagrama de Moody se obtiene un valor de:

$$f = 0,032 [-]$$

Tabla F.1. Rugosidad ε equivalente en distintos materiales.

Rugosidad equivalente de materiales	
Material	Rugosidad ε [μm]
Plástico (PE, PVC)	1,5
Tubos estirados de acero	2,4
Tubos de latón o cobre	1,5
Fundición con revestimiento	2,4
Fundición centrífuga	3
Fundición	12-16
Acero comercial y forjado	30-90
Hierro forjado	30-90
Hierro galvanizado	180-900

Fuente: Extracto de [12].

Por otro lado, se debe calcular además la longitud equivalente producto de singularidades (codos, válvulas, enfriador de placas, etc.) instaladas en el sistema de válvulas.

Por longitud equivalente de un accesorio determinado se entiende la longitud de un tramo recto capaz de producir la misma pérdida de carga que estos elementos. Así la longitud total L de la ecuación de Fanning es la suma de la longitud lineal efectiva L_{ef} de cañerías y la longitud equivalente L_{eq} de estos accesorios.

Como se explicó anteriormente, la dirección del fluido cambia según la etapa del proceso en la que se encuentre, por lo que no todos los accesorios están en uso simultáneamente. Para efectos de este cálculo se utilizará la situación más desfavorable, que corresponde a la etapa de enfriamiento, ya que en esta etapa se utilizan 4 codos y un intercambiador de placas de forma simultánea, en donde esta última es la de mayor impacto debido a que es la que genera más pérdidas de energía.

Utilizando la información para longitudes equivalentes [12] se tiene que:

$$L_{eq} = 4 \cdot 0,46 + 3,4 = 4,88$$

$$L_{ef} = 1$$

$$L = L_{eq} + L_{ef} = 5,88$$

Luego:

$$H_V = \left(\frac{4 \cdot 0,032[-] \cdot 5,88[m]}{0,0127[m]} \right) \cdot \frac{\left(0,65 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2}{2 \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 1,24 [m]$$

Por lo que finalmente la altura total del sistema requerida es:

$$H_A = \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{c_2 - c_1}{\rho \cdot g} + z_2 - z_1 + H_V = 2,24 [m]$$

G. Anexo G. Cálculo de conclusiones cuantitativas.

De la *Tabla 3.4* se obtienen las diferencias de costos y tiempos de procesos para las diferentes alternativas. Con esto se tiene que la diferencia porcentual entre la manera tradicional y la alternativa seleccionada es:

$$Costo\ preliminar_{\%} = \left| \frac{464.460 - 573665}{464.460} \right| * 100 = 23,51 \%$$

$$Costo\ final_{\%} = \left| \frac{464.460 - 487663}{464.460} \right| * 100 = 4,99 \%$$

$$Tiempo_{\%} = \left| \frac{6,42 - 4,25}{6,42} \right| * 100 = 33,80 \%$$

Por otro lado, la disposición típica de un proceso tradicional tiene unas medidas aproximadas de $0,5 \times 2 \times 1,5$ [m] como se aprecia en la *Figura 3.1*. Las medidas aproximadas del nuevo modelo son de $0,5 \times 0,5 \times 1,5$ [m], dando una diferencia porcentual en volumen de:

$$Volumen_{tradicional} = 0,5 \times 2 \times 1,5 = 1,5 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Volumen_{diseño} = 0,5 \times 0,5 \times 1,5 = 0,375 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Espacio_{\%} = \left| \frac{1,5 - 0,375}{1,5} \right| * 100 = 75 \%$$

H. Anexo H. Medidas generales del modelo.

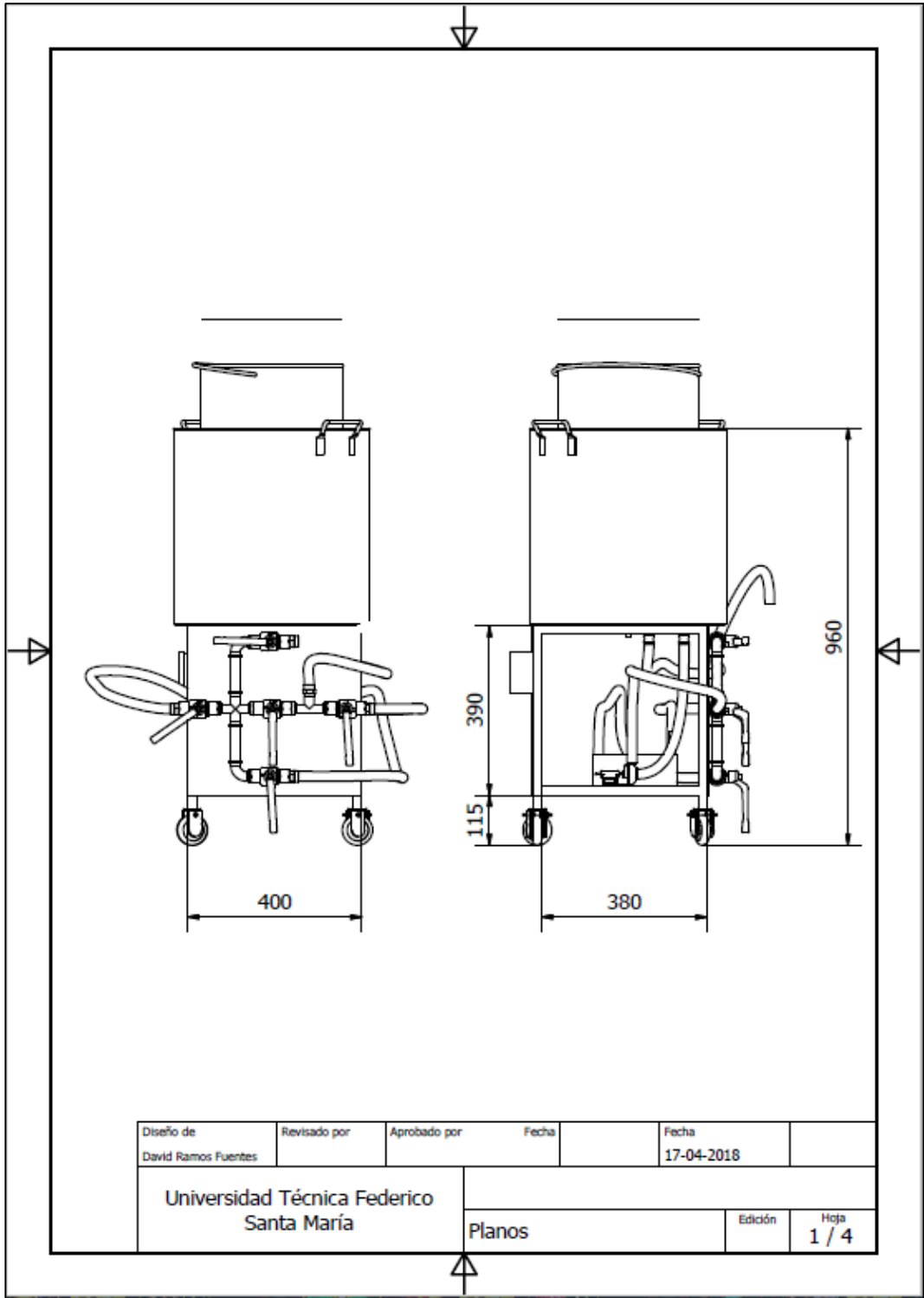


Figura H.1. Plano general de la estructura.

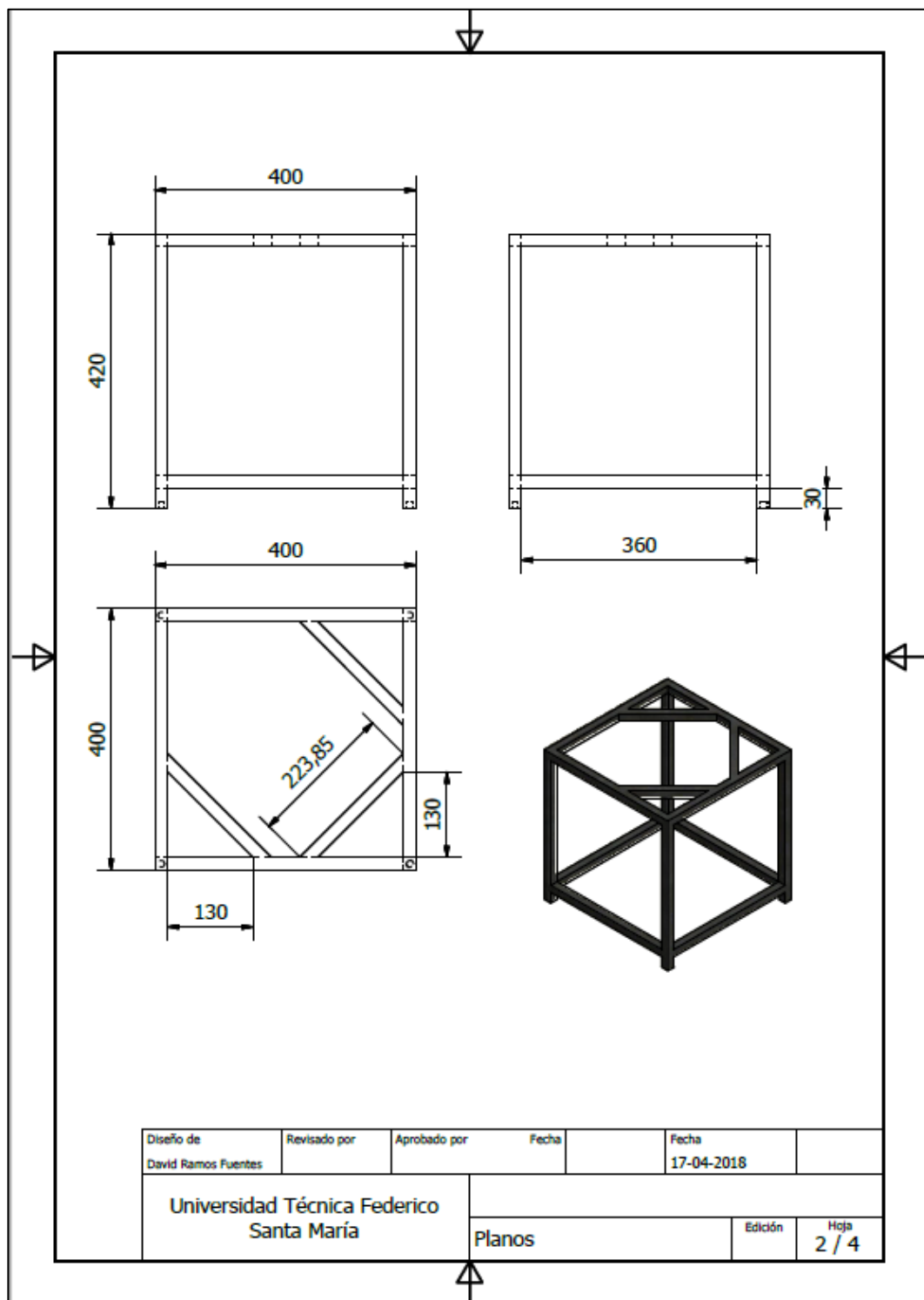


Figura H.2. Plano general de la estructura base.

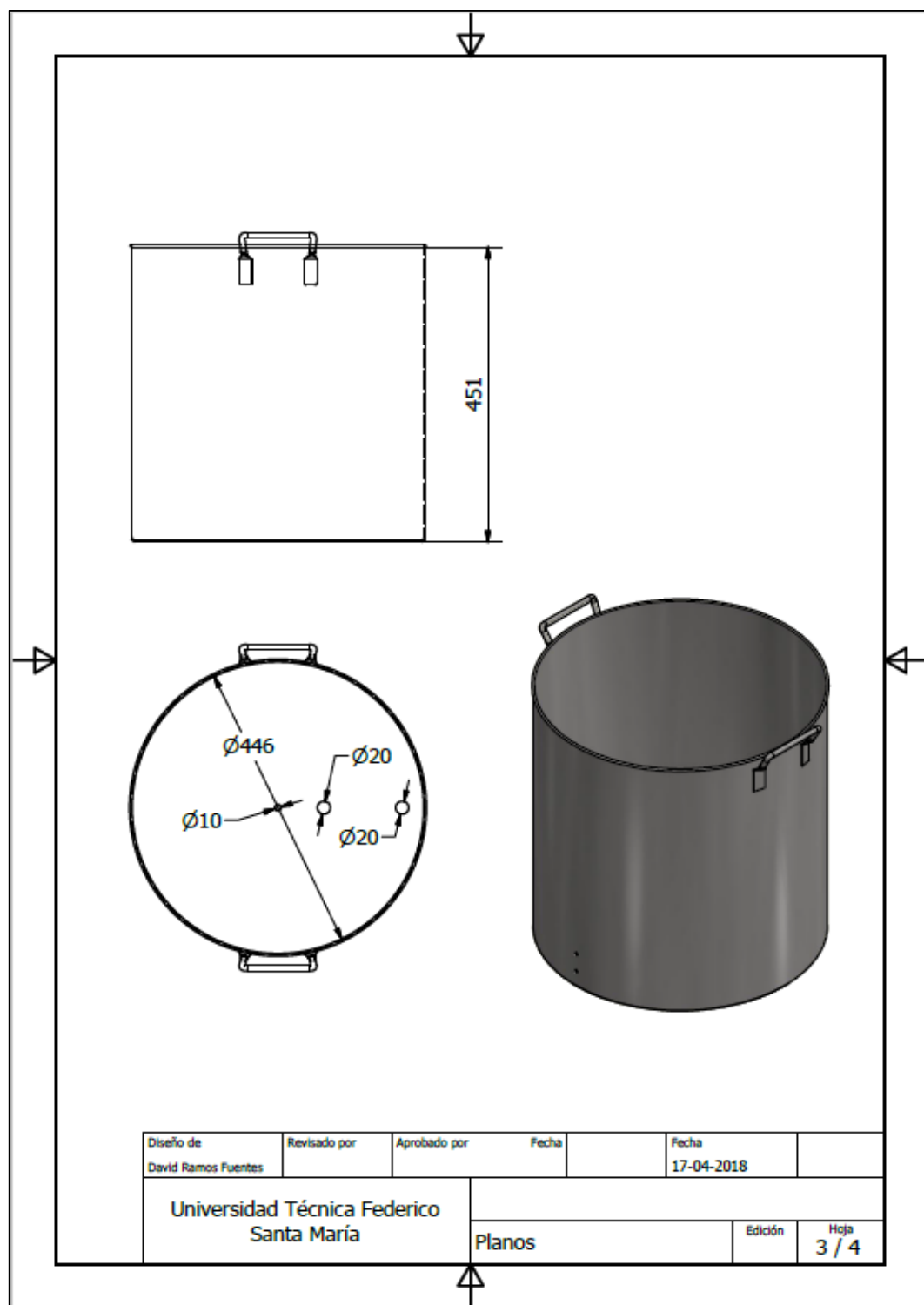


Figura H.3. Plano general de la olla principal.

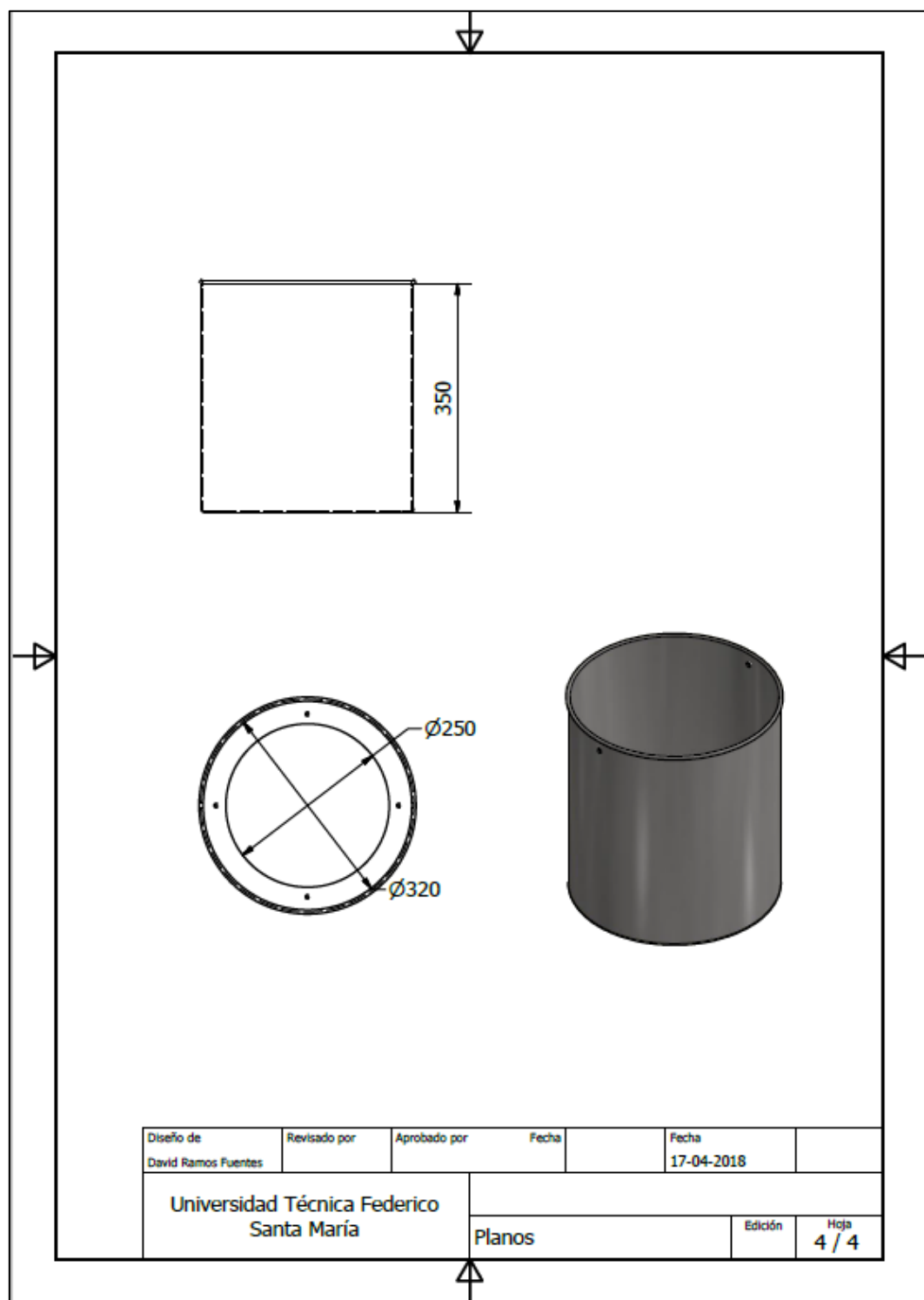


Figura H.4. Plano general de la olla secundaria.

6 Referencias

- [1]. Pilla S. & Vince G. *Cervezas de todo el mundo*. De Vecchi ediciones.
- [2]. Calleja Colorado J. (2013). *Diseño de una planta de elaboración de cerveza artesanal para consumo directo*. Microcervecería. (Memoria de licenciatura). Universidad de Cádiz.
- [3]. Merelo Espinar, G. R. & Zúñiga Tapia, J. G. (2013). *Diseño y construcción de un equipo con adaptación de tecnología para elaboración de cerveza artesanal*. (Memoria de licenciatura). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- [4]. Cerveza Wittwer. *Manual para la elaboración de cerveza*. Recuperado de: http://www.cervezawittwer.cl/cursos_elaboración.html
- [5]. Almacén cervecero (2016). *Proceso de elaboración de cerveza artesanal*. Recuperado de: http://almacencervecero.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=31&Itemid=9
- [6]. Rodani S.A. *Cotización de ruedas para carros*. Recuperado de: <https://www.ruedasdegoma.cl/index.php/ruedas-goma/rueda-de-goma-polipropileno-en-soporte-de-acero-inoxidable>
- [7]. Fabrestel S.A. *Cotización y diseño de resistencia eléctrica tubular*. Recuperado de: <http://www.fabrestel.cl/tubulares.html>
- [8]. RKC Instruments. *Manual RKC Rex-C400*. Recuperado de: https://www.rkcinst.co.jp/english/pdf_manual/imnzc22e1.pdf
- [9]. Chugger Pump. *Cotización bomba centrífuga*. Recuperado de: <https://www.chuggerpumps.com/product/cpss-in-1>
- [10]. AliExpress. *Cotización*. Recuperado de: <https://es.aliexpress.com/store>
- [11]. Saneamador. *Cotización tuberías y válvulas*. Recuperado de: <http://www.saneamador.es/416-instalacion-agua>
- [12]. Sterling Fluid Systems (2005). *Principios básicos para el diseño de instalaciones de bombas centrífugas*. Sterling ediciones.