



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MACERACIÓN
COMO PARTE DE UNA LÍNEA DE PROCESO PARA LA
ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL.”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

SARA MONSERRATH CHALCO NARVAEZ

RICHARD ALEXANDER SALAZAR CHICHANDE

DIRECTOR: ING. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Sara Monserrath Chalco Narvaez – Richard Alexander Salazar Chichande

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Sara Monserrath Chalco Narvaez y Richard Alexander Salazar Chichande, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16/09/2021

Sara Monserrath Chalco Narvaez
185008485-4

Richard Alexander Salazar Chichande
210052830-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MACERACIÓN COMO PARTE DE UNA LÍNEA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL**”, realizado por la señorita: **SARA MONSERRATH CHALCO NARVAEZ**, y el señor: **RICHARD ALEXANDER SALAZAR CHICHANDE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderon PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SEGUNDO HUGO CALDERON	2021-09-16
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MARCO RAUL CHUIZA	2021-09-16
Dr. Edgar Iván Ramos Sevilla MIEMBRO DEL TRIBUNAL	EDGAR IVAN RAMOS SEVILLA  Firmado digitalmente por EDGAR IVAN RAMOS SEVILLA Nombre de reconocimiento (DN): cn=EDGAR IVAN RAMOS SEVILLA, serialNumber=9601497233, ou=AUTORIDAD DE CERTIFICACION ESPOCH DITC, o=ESPOCH DITC, l=ESPOCH DITC, c=EC Fecha: 2021.10.18 15:27:20 -05'00'	2021-09-16

DEDICATORIA

Este trabajo de integración curricular está dedicado a mis dos madres, María y Jimena, quienes han sido los pilares fundamentales desde que tengo uso de razón y me han dado su apoyo incondicional para cada paso que he dado, alentándome y dándome su fuerza en mi crecimiento personal como profesional, también se la dedico a mis hermanos David, José y Ezequiel, como a mi hermana Viviana, pues cada uno ha aportado en mí, cariño y aliento para continuar, sin ellos este camino no hubiera sido el mismo. A mis amigos que están en el cielo Marco y Daniel quienes siempre creyeron en mí y donde quiera que estén sé que están orgullosos y felices al ver donde he llegado.

Sara Monserrath Chalco Narvaez

Dedico el presente trabajo técnico a toda mi familia, principalmente a mi Madre (Eligna Chichande) por su apoyo constante, por amarme y siempre haberme protegido y alentado para crecer de manera personal y profesional, y a mi Padre (Elpiz Chichande) por siempre creer en mí y velar por mi bienestar hasta sus últimos momentos de vida, sé que en estos momentos estaría orgulloso de mí, ya que estoy cumpliendo uno de sus más grandes anhelos. Recordando siempre sus palabras “La mejor herencia que un Padre le puede dejar a sus hijos es el estudio”.

Richard Alexander Salazar Chichande

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme las fuerzas y aliento necesario a través de mis dos madres, Jimena y María pues su sacrificio no ha sido en vano y me han ayudado a alcanzar una meta más en mi vida, muchas gracias por todo no me alcanzará la vida para retribuir lo que han dedicado en mí. A mis hermanos y hermana quienes con cosas simples me han ayudado y reconfortado. A mis amigas Vane, Anita y Alexandra y a mis amigos Luis, Bastián y Jonathan P. quienes siempre han creído en mí y me han animado en mis momentos difíciles. A mis amigos de la carrera Ariana, Jessica, Heidi y Richard, por todo el apoyo, desveladas, sacrificios, amistad y experiencias vividas.

Por último y no menos importante a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y los docentes con los que tuve el honor de aprender, al Ing. Marco Chuiza y el Dr. Iván Ramos por el apoyo, paciencia y comprensión a lo largo del desarrollo de este trabajo de integración curricular.

Sara Monserrath Chalco Narvaez

En primera instancia agradezco a mi Madre, por haberme apoyado en todo momento y haber creído en mí de manera incondicional. Siendo mi madre el pilar fundamental de mi vida. A mi Padre Elpiz Chichande, por haberme inculcado los diversos valores que han hecho de mí una mejor persona, ya que una persona puede estar lejos, pero nunca puede olvidar sus valores. Gracias por ser un padre ideal, su espíritu siempre me acompañará. A mi Mami Mariana y primos, por la paciencia que siempre me han tenido, su apoyo, consejos y por siempre estar viendo por mi bienestar. A mis hermanos, quienes a pesar de las discusiones siempre han estado apoyándome y siguiendo mis pasos.

A mis tíos, por escucharme y brindarme consejos cuando los he necesitado. A mi tía Kerly, por siempre estar pendiente de mi bienestar y apoyarme. A Mishell, por la paciencia que me ha tenido, la compañía brindada y por ayudarme a ser una mejor persona. A Jinson, mi querido amigo, siempre me apoyaste y creíste en mí, donde quiera que estés muchas gracias por haberme brindado tu amistad. A mis amigos Jeann, Cristian y Monserrath por los consejos brindados a lo largo de mi vida y a lo largo de mi carrera universitaria. A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Química, por haberme brindado los conocimientos necesarios para elaborar este trabajo de integración curricular, en especial, al Ing. Paúl Palmay, Ing. Marco Chuiza y Dr. Iván Ramos, quienes supieron brindarme su amistad.

Richard Alexander Salazar Chichande

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ABREVIATURAS.....	v
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación del proyecto.....	3
1.3. Beneficiarios directos e indirectos.....	3
1.3.1. <i>Beneficiarios directos</i>	3
1.3.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	4
1.4. Localización Geográfica del Proyecto.....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. <i>General</i>	5
1.5.2. <i>Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Marco Conceptual.....	7

2.2.1.	<i>Materia prima</i>	7
2.2.1.1.	<i>Malta</i>	7
2.2.1.2.	<i>Tipos de malta</i>	7
2.2.1.3.	<i>Agua</i>	8
2.2.1.4.	<i>Lúpulo</i>	9
2.2.2.	<i>Proceso de Elaboración de Cerveza Artesanal</i>	12
2.2.2.1.	<i>Germinación</i>	12
2.2.2.2.	<i>Secado y Tostado</i>	12
2.2.2.3.	<i>Molturación o Molienda</i>	12
2.2.2.4.	<i>Maceración</i>	12
2.2.2.5.	<i>Factores que afectan las condiciones de maceración</i>	17
2.2.2.6.	<i>Aspersión</i>	19
2.2.2.7.	<i>Filtración</i>	20
2.2.2.8.	<i>Cocción (Wort Boiling)</i>	20
2.2.2.9.	<i>Enfriamiento (Wort Cooling)</i>	21
2.2.2.10.	<i>Fermentación</i>	21
2.2.2.11.	<i>Maduración</i>	21
2.2.2.12.	<i>Carbonatación y Embotellado</i>	21
2.2.3.	<i>Caracterización del Mosto</i>	22
2.2.3.1.	<i>Características organolépticas</i>	22
2.2.3.2.	<i>Requisitos Fisicoquímicos</i>	22
2.2.3.3.	<i>Requisitos microbiológicos</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Tipo de Estudio.....	23
3.2.	Método experimental.....	23
3.3.	Determinación de las variables del proceso.....	23

3.3.1.	<i>Temperatura.....</i>	23
3.3.2.	<i>pH.....</i>	23
3.3.3.	<i>Densidad.....</i>	23
3.3.4.	<i>Tiempo.....</i>	24
3.4.	<i>Diseño del Equipo de Producción de Mosto.....</i>	24
3.4.1.	<i>Normas para la construcción del Equipo.....</i>	24
3.4.2.	<i>Selección del material de construcción.....</i>	24
3.4.3.	<i>Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.....</i>	25
3.4.3.1.	<i>Elementos utilizados para la construcción del equipo.....</i>	25
3.4.4.	<i>Descripción general del equipo de Producción de Mosto.....</i>	33
3.4.5.	<i>Cálculos para el dimensionamiento del recipiente de maceración, cocción y filtración.....</i>	35
3.4.6.	<i>Especificaciones de los equipos.....</i>	39
3.4.7.	<i>Cálculos de Diseño.....</i>	39
3.4.7.1.	<i>Macerador.....</i>	39
3.4.7.2.	<i>Recipiente de Cocción.....</i>	40
3.4.8.	<i>Cálculo del tiempo de enfriamiento del mosto.....</i>	41
3.4.9.	<i>Esquema de Tuberías y Válvulas del Equipo.....</i>	56
3.4.10.	<i>Esquema del sistema de calentamiento.....</i>	56
3.4.11.	<i>Esquema general del equipo de maceración.....</i>	57
3.4.12.	<i>Metodología del proceso de maceración.....</i>	57
3.4.13.	<i>Proceso de obtención del mosto.....</i>	58
3.4.14.	<i>Balance de masa global Experimentación.....</i>	58
3.4.15.	<i>Blance de masa por etapas.....</i>	59
3.5.	<i>Análisis de costos.....</i>	64
3.6.	<i>Cronograma de Ejecución del proyecto.....</i>	65

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	67
4.1.	Datos obtenidos en el proceso de maceración.....	67
4.2.	Rendimiento obtenido al final de la maceración	67
4.3.	IBU's después de la etapa de Cocción	67
4.4.	Caracterización del mosto obtenido.....	70
4.4.1.	<i>Pruebas organolépticas</i>	70
4.4.2.	<i>Parámetros físico – químicos</i>	70
4.4.2.1.	<i>Prueba de Yodo</i>	70
4.4.3.	<i>Determinación de Grados plato</i>	71
4.4.4.	<i>Parámetros Microbiológicos</i>	72
4.5.	Análisis y discusión de resultados	72
	CONCLUSIONES.....	74
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Localización del Laboratorio de Procesos Industriales ESPOCH.....	4
Tabla 1-2.	Tipos de maltas más utilizadas	8
Tabla 2-2.	Tipos de Lúpulo según el país.....	10
Tabla 3-2.	Condiciones óptimas para la activación de las enzimas en el proceso de maceración	13
Tabla 4-2.	Métodos de maceración por Decocción.....	17
Tabla 5-2.	Requisitos fisicoquímicos de la bebida de malta.....	22
Tabla 6-2.	Requisitos microbiológicos para la bebida de malta.....	22
Tabla 1-3.	Normas Seleccionadas para la construcción del Equipo	25
Tabla 2-3.	Propiedades de la Selección del Material	25
Tabla 3-3.	Propiedades físicas.....	26
Tabla 4-3.	Componentes de una válvula de bola.....	27
Tabla 5-3.	Especificaciones de la bomba.....	30
Tabla 6-3.	Cuadro resumen de los materiales utilizados para la construcción del equipo	32
Tabla 7-3.	Dimensión de recipientes de macerado y cocción	39
Tabla 8-3.	Dimensión de serpentín para enfriamiento	39
Tabla 9-3.	Parámetros para enfriamiento del mosto con el serpentín	41
Tabla 10-3.	Parámetros para el mosto a 63°C.....	43
Tabla 11-3.	Parámetros para cálculos del serpentín.....	51
Tabla 12-3.	Datos obtenidos para el dimensionamiento del serpentín.....	55
Tabla 13-3.	Costos de Inversión del Proyecto.....	64
Tabla 1-4.	Datos de Maceración.....	67
Tabla 2-4.	Resultados de Rendimiento de cada Experimentación.....	67
Tabla 3-4.	Porcentaje de utilización del lúpulo en pellets y flores.....	68
Tabla 4-4.	Resultados de las IBU's de cada experimentación al finalizar la cocción.....	70
Tabla 5-4.	Pruebas Organolépticas del mosto obtenido	70
Tabla 6-4.	Transición de color en prueba de yodo al mosto obtenido	70
Tabla 7-4.	Parámetro de grados plato del mosto lupulado.....	71
Tabla 8-4.	Resultado de variables finales	72
Tabla 9-4.	Requisitos microbiológicos.....	72
Tabla 10-4.	Resultados de ensayos microbiológicos	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Localización del Laboratorio de Procesos Industriales.....	4
Figura 1-2: Cebada malteada o malta	7
Figura 2-2: Lúpulo.....	9
Figura 3-2. Sistema de aspersión o sparging	19
Figura 1-3. Válvula de bola	27
Figura 2-3. Componentes de una válvula de bola	28
Figura 3-3. Válvula de perilla	28
Figura 4-3. Quemadores industriales de hierro fundido.....	29
Figura 5-3. Termómetro analógico (Bimetálico).....	29
Figura 6-3. Bomba centrífuga periférica	30
Figura 7-3. Abrazadera Clamp de un solo pemo con empaque	31
Figura 8-3. Tubería de Acero Inoxidable	31
Figura 9-3. Esquema de Recipiente de Maceración.....	33
Figura 10-3. Esquema del filtro para el recipiente de Maceración.....	34
Figura 11-3. Esquema del recipiente de Cocción.....	34
Figura 12-3. Esquema del aspersor para el recipiente de Maceración.....	34
Figura 13-3. Esquema del serpentín para el recipiente de Cocción.....	35
Figura 14-3. Coeficientes de convección exterior para ciertas configuraciones de serpentín ...	47
Figura 15-3. Definición de funciones	51
Figura 16-3. Diagrama de proceso de Maceración y Cocción.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Etapas del proceso de maceración	15
Gráfico 2-2. Actividad enzimática.....	18
Gráfico 3-2. Comportamiento de enzimas en niveles de Ph y Temperatura.....	19

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Tabla de relación del tiempo de hervido vs densidad de mosto

ANEXO B: Tabla de rendimiento según el tipo de malta

ANEXO C: Índice de Amargor para cervezas Pale Ale

ANEXO D: Examen Microbiológico del Mosto

ANEXO F: Implementación del sistema de tuberías en los recipientes; Desinfección de los recipientes

ANEXO G: Proceso de maceración: Mezcla de agua y malta molida; Lavado y recirculado del mosto; Llenado del recipiente de cocción; Bagazo resultante

ANEXO H: Proceso de maceración: Agregación de lúpulo en la cocción a 60min, 40min y 15min.

ANEXO I: Sistema de Tuberías y Válvulas

ANEXO J: Vista Superior Equipo

ANEXO K: Vista Lateral del Equipo

ANEXO L: Vista Frontal del Equipo

ANEXO M: Certificado de Entrega del Equipo

ABREVIATURAS

A: Área del serpentín en m².

A₁: Área del Cilindro en m².

A₂: Área del Cono en m².

A_{BI}: Área Base del Cilindro en m².

A_{B2}: Área Base del Cono en m².

A_{BF}: Área Base del Filtro en m².

A_f: Área de flujo en m².

A_{LI}: Área Lateral del Cilindro en m².

A_{L2}: Área Lateral del Cono en m².

A_{LF}: Área Lateral del Filtro en m².

A_T: Área total del Recipiente en m².

A_{TF}: Área Total del Filtro en m².

B: Función intermedia 2

B. Humedo: Bagazo Húmedo.

Bs: Bagazo Seco en kg

C_p: Capacidad calorífica del agua a temperatura ambiente.

C_{pH2O}: Calor específico del agua refrigerante.

C_{pm}: Calor específico del mosto a 63°C

C_{pRecipiente}: Calor específico del recipiente

D_i: Diámetro interno de la tubería del serpentín.

D_o: Diámetro externo de la tubería del serpentín

dq: Diferencial de Calor.

D_s: Diámetro externo del serpentín

dθ: Diferencial de tiempo.

e: Número de Euler.

E: Función intermedia 1.

ex: Extracto del mosto.

exT : Masa de Extracto total.

Fc: Factor de corrección.

g: Inclinación del Cono en m².

G.O: Gravedad específica después del proceso

h: Altura del recipiente en m.

H: Altura del serpentín.

h_i: Coeficiente de convección interior

h_o : Coeficiente de convección exterior
 $IBU's$: Unidad Internacional de Amargura
 k : Conductividad térmica del mosto a 63°C
 L : Longitud del serpentín
 Lm : Litros de mosto
 m : masa total en el recipiente.
 m_{agua} : Masa del agua de ingreso.
 $m_{H2O\ evaporada}$: Masa de agua evaporada.
 $m_{H2O\ lavado}$: Masa de agua de lavado.
 m_{malta} : Masa de la malta
 m_{mosto} : Masa del mosto
 $m_{mosto\ antes\ del\ lavado}$: Masa del mosto antes del lavado.
 $m_{mosto.L}$: Masa de mosto después del lavado.
 $m_{recipiente}$: Masa del recipiente de acero inoxidable
 N : Número de vueltas del serpentín
 p : Paso
 Plu : Peso del lúpulo en gramos
 Pr : Número adimensional de Prandlt
 q : Cantidad de calor en KJ.
 Q : Caudal del Mosto.
 Q_I : Calor del quemador Industrial
 q_{H2O} : Calor Absorbido por el agua.
 q_{mosto} : Calor perdido por el mosto
 r : Radio del Recipiente en m.
 Re : Número adimensional de Reynolds
 R_{MALTA} : Rendimiento de la Malta Seleccionada
 t : Tiempo
 t_1 : Temperatura de entrada del agua refrigerante.
 T_1 : Temperatura de entrada del mosto en el recipiente
 t_2 : Temperatura de salida del agua refrigerante.
 T_2 : Temperatura salida del mosto en el recipiente
 T_i : Temperatura inicial
 T_f : Temperatura final
 T_m : Temperatura media del mosto
 U : Coeficiente global de transferencia de calor

v : Velocidad de flujo del mosto.
 V_1 : Volumen del Cono m^3 .
 V_2 : Volumen del Cilindro
 V_{FMOSTO} : Volumen Final del mosto m^3 .
 V_F : Volumen del Filtro en m^3 .
 V_m : Volumen del mosto
 V_{mosto} : Volumen del mosto de maceración.
 V_T : Volumen Total del Recipiente m^3 .
 W : Masa térmica de todo el sistema
 π : Número Pi (3.1416).
 λ : Calor Latente del agua.
 ρ_{AC} : Densidad antes de la cocción.
 ρ_m : Densidad del mosto
 ΔT : Diferencial de temperatura
 ΔT_{ml} : Diferencia de Temperatura Media Logarítmica
 η : Eficiencia del proceso
 $^{\circ}P$: Grados plato.
 $^{\circ}Brix$: Grados Brix
 \dot{m}_{H2O} : Flujo másico de agua refrigerante.
 \dot{m}_{mosto} : Flujo másico del mosto
 $\%AA$: Porcentaje de Alpha ácidos que posee el lúpulo
 $\%U$: Porcentaje de utilización
 \dot{Q} : Potencia
 θ : Tiempo empleado para enfriar el serpentín
 ΔT_{1m} : Variación de temperatura 1
 ΔT_{2m} : Variación de temperatura 2
 μ : Viscosidad dinámica del mosto a $63^{\circ}C$

RESUMEN

El diseño y construcción de un equipo de Maceración como parte de una línea de proceso de elaboración de cerveza artesanal permitió elaborar mosto lupulado; el equipo tiene la posibilidad para realizar procesos complementarios como: lavado, cocción y enfriamiento; permitiendo obtener un producto apto para el ingreso a la etapa de fermentación, debido a la obtención de las diferentes variables de diseño, obtenida de manera experimental. En conjunto con los diferentes códigos, se logró la construcción de un equipo que pueda realizar el proceso de maceración de manera eficiente. La eficiencia de la maceración dependió en gran medida del tipo de malta utilizada y su relación respecto al agua, ya que para lograr obtener un mosto óptimo se necesitará que la densidad sea de 1.040g/mL, para ello en el proceso de lavado se añadió la cantidad necesaria para que la densidad llegue al valor deseado. En la sección de cocción, se agregó el lúpulo con el fin de darle amargor al mosto, se dio en tres tiempos a los 60min, 30min y 15min de la cocción, la misma que tiene una duración de 60min, llevando al mosto a temperaturas de 100°C con el fin de realizar la inactivación enzimática y eliminar microorganismos patógenos que pueda presentar el mosto. Como último paso para la elaboración de mosto se realizó el enfriamiento, con el fin de otorgar la temperatura indicada (23°C) para el ingreso al fermentador, con una duración de aproximadamente 3.77 horas. Al finalizar este proceso se realizaron los diversos análisis que comprueben el cumplimiento de la norma INEN 2203, donde la caracterización, tales como: exámenes organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos cumplieron la norma. Cabe señalar que la utilización de un medio filtrante en la cocción permitió que el mosto resultante presente una menor turbidez, aumentando la eficiencia del proceso.

Palabras clave: <RECIPIENTE>, <MACERADOR>, <PROCESOS>, <MALTA>, <LUPULO>, <MOSTO>, <COCCIÓN>

Firmado digitalmente por LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, l=RIOBAMBA, serialNumber=0602766974, cn=LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.05.11 08:43:26 -05'00'

**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**



1122-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The design and construction of a Maceration equipment as part of a craft beer production process line made it possible to produce hopped must; the equipment has the possibility of carrying out complementary processes such as: washing, cooking and cooling; allowing to obtain a product suitable for entering the fermentation stage, due to obtaining the different design variables, obtained experimentally. Together with the different codes, it was possible to build a team that can carry out the maceration process efficiently. The efficiency of maceration depended largely on the type of malt used and its relation to water, since to obtain an optimal must, it will be necessary to have a density of 1,040g/mL. For this purpose, the amount needed to achieve the density was added in the washing process. In the cooking section, hops were added in order to bitterness the must. It was given in three times to the 60min, 30min and 15min of the cooking, the same one that has a duration of 60min, leading to the must at temperatures of 100°C in order to perform the enzymatic inactivation and to eliminate pathogenic microorganisms that can present the must. As the last step for the production of must, cooling was carried out, in order to provide the indicated temperature (23 ° C) for entering the fermenter, with a duration of approximately 3.77 hours. At the end of this process, the various analyzes were carried out that verified compliance with the INEN 2203 standard, where the characterization, such as: organoleptic, physicochemical and microbiological tests complied with the standard. It should be noted that the use of a filter medium in cooking allowed the resulting must to present less turbidity, moistening the efficiency of the process.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <MACERATOR>, <PROCESSES>, <MALTA>, <HOPS>, <WAST>, <COOKING>

INTRODUCCIÓN

La cerveza es una de las bebidas populares y más consumidas en el Ecuador, sin embargo, la cerveza de manera artesanal no es muy popular, pero posee una gran diversidad con un campo amplio para su estudio y exploración, es así como en este Trabajo de Integración Curricular se ha puesto en marcha el Diseño y Construcción de un equipo de Maceración como parte de una línea de proceso para la elaboración de Cerveza Artesanal. La materia prima que compone una cerveza artesanal es: cebada malteada, agua, lúpulo y levadura, sin embargo, la levadura se utiliza en la etapa de fermentación por lo que en este proceso propuesto no será de utilidad. Las diferencias que existen entre la producción de cerveza artesanal con la cerveza industrial es que existe una filtración más simple y no de forma química como en la industrial, la materia prima es diversa, pero con más calidad lo que brinda más diversidad como productos finales, además se toma muy en cuenta las características organolépticas, pues la cerveza artesanal se preocupa de su cuerpo, textura y aroma. (Pica, 2018)

Las etapas que compondrán el equipo diseñado y construido serán: maceración, cocción y enfriamiento, las cuales son consideradas las etapas más importantes en el proceso de elaboración de la cerveza artesanal, ya que de estas dependen el contenido de azúcares fermentables y no fermentables obtenidos por el desdoblamiento del almidón para el posterior consumo de las levaduras en fermentación. En lo que respecta al amargor, este depende de la adición del lúpulo en la etapa de cocción, en esta etapa también se realiza una esterilización del mosto eliminando así microorganismos patógenos, al finalizar la etapa de cocción se realiza el enfriamiento el cual es necesario para que exista un choque térmico y así eliminar microorganismos patógenos de temperaturas bajas. Una vez contempladas las etapas principales, también es necesario mencionar otras etapas que complementan el diseño del equipo, siendo así, un falso fondo con un filtro para la separación del bagazo seco y obtener el mosto, considerado etapa de filtración, un aspersor que involucra las etapas de recirculado y lavado, de estas etapas dependen la clarificación del mosto como también el arrastre de los azúcares fermentables y no fermentables del empaste o mezcla de agua y malta molida. Las variables que se consideran en el proceso son la temperatura, pH, tiempo, relación Kg de malta/ L de agua, de estas dependen el resultado de una buena maceración por la actividad enzimática que se produce. La construcción de este equipo da lugar al estudio y exploración de la industria cervecera, lo cual será de utilidad para las diferentes experimentaciones con la diversidad de cebada malteada que se deseen aplicar o realizar.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

A lo largo de la carrera de Ingeniería química se estudian diversos procesos en los cuales las operaciones unitarias toman un papel fundamental, siendo esta, una parte indivisible de una transformación física, donde una materia inicial pasa a un producto de características diferentes. (Brito, 2000) Uno de los procesos más representativos de la industria en el cual se aplican directamente los conocimientos impartidos en la carrera es la obtención de cerveza a partir de la fermentación alcohólica; en el país se consumen 50 millones de litros de cerveza anualmente, siendo tan solo 720mil litros de manera artesanal (2%), lo que hace que el estudio de esta rama de la fermentación alcohólica para la producción de cerveza artesanal un nido de mercado a ser explorado. (Martínez, 2015 pág. 9)

Por lo cual se ha podido notar la ausencia de un equipo que permita la realización de prácticas orientadas a la producción de cerveza artesanal en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Química, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, además de percibir en la formación académica de los estudiantes, afecciones, como la falta de profundización en este tema (en el aspecto de la experimentación de esta práctica). Siendo así, la implementación de una línea de proceso para la elaboración de cerveza artesanal significaría una alternativa viable para la preparación de los profesionales de la carrera. Por lo cual se ha resuelto la división de esta línea de proceso en tres secciones: Maceración, Cocción y Carbonatación, siendo el equipo de maceración el seleccionado para nuestro proyecto de Integración Curricular. En el equipo de maceración se trabajará de manera discontinua, aprovechando los conocimientos impartidos en materias como lo son Ingeniería de Reacciones, Operaciones Unitarias, entre otras. Dándole a los estudiantes una gran oportunidad de desenvolverse en el campo laboral con los conocimientos adquiridos.

Es así que el diseño y construcción del Macerador es el objeto a alcanzar en el trabajo de integración curricular, pues se desea aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera como también, implementarlo en el laboratorio de Procesos Industriales, conformando una de las tres secciones de la línea de proceso para la elaboración de cerveza artesanal, añadiendo una actividad más, que aporte a los aprendizajes académicos como investigativos en estudiantes, solventando la acentuación que requiere una experimentación de fermentación alcohólica.

1.2. Justificación del proyecto

En los últimos años se ha logrado observar un aumento en la tendencia del consumo de cervezas artesanales, ya que se consideran de mayor calidad y de distintas variedades (Chiquito, 2018 pág. 1). En este trabajo de integración curricular se pretende implementar un equipo (Macerador) correspondiente a una de las tres secciones que conforman una línea de proceso para la producción de la cerveza artesanal. Proporcionando a la Carrera de Ingeniería Química, un nuevo método que facilite la comprensión de temas referentes a procesos industriales.

Uno de los aspectos fundamentales del porqué, de la construcción de este equipo es debido a que, durante el tiempo de estudios en la carrera de Ingeniería Química, no se ha logrado experimentar en un equipo como tal, y como se mencionó anteriormente, en la carrera existen variedad de equipos para diferentes prácticas de procesos, sin embargo, el diseño y construcción de un equipo de maceración que permita realizar la producción de cerveza, sería un aporte más hacia la tecnología de laboratorios como también de gran impacto en el estudio académico, pues los beneficiarios directos son los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química, como también los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, pues brinda la oportunidad de experimentar y ver más allá de la teoría impartida por los docentes.

Como estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mediante los conocimientos adquiridos de las diferentes asignaturas a lo largo de la carrera, se espera poner en práctica todos ellos, por medio del diseño de un equipo, donde se da lugar la maceración, pues se considera una etapa de importancia debido a que en esta se da lugar a la transformación de los almidones obtenidos en la malta a azúcares fermentables propicios para la posterior fermentación, dando como valor agregado a la utilización de este, un complemento tecnológico para la elaboración de cerveza artesanal. Pues se conoce que es una de las bebidas más populares y sociales que hay en el país.

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1. Beneficiarios directos

Los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería química pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo serán los beneficiarios directos del presente proyecto, ya que conformará una parte de vital importancia en la línea de proceso para la elaboración de cerveza artesanal, siendo el macerador el objeto de estudio por el cual se nutrirán los conocimientos de los educandos y sus docentes.

1.3.2. Beneficiarios indirectos

- Tomando en cuenta la materia prima a usar para la elaboración de cerveza artesanal en el equipo de maceración, los proveedores de esta resultarán beneficiados por la venta de sus productos.
- Futuros tesisistas que pretendan complementar o rediseñar la línea de proceso de elaboración de cerveza artesanal optimizando así el sistema de producción o creación de un producto derivados de la cerveza artesanal.

1.4. Localización Geográfica del Proyecto

El presente proyecto técnico será realizado en el Laboratorio de Procesos Industriales de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias perteneciente a la ESPOCH, el mismo que se encuentra ubicado en la Panamericana Sur kilómetro 1 1/2 de la ciudad de Riobamba, localizada en la provincia de Chimborazo.

Tabla 1-1. Localización del Laboratorio de Procesos Industriales ESPOCH

LATITUD	1° 39' 20.6" S
LONGITUD	78° 40' 45.2" W
ALTITUD	2752 msnm
CLIMA	14°C

Fuente: (Google, 2020)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard



Figura 1-1. Localización del Laboratorio de Procesos Industriales

Fuente: (Google, 2020)

1.5. Objetivos

1.5.1.General

- Diseñar y construir un equipo de maceración como parte de una línea de proceso para la elaboración de cerveza artesanal.

1.5.2.Específicos

- Determinar las variables de diseño del equipo de maceración para obtener mosto, mediante método experimental.
- Realizar los cálculos de ingeniería necesarios para el diseño del equipo de maceración.
- Construir y ensamblar el equipo de maceración para la producción de cerveza artesanal.
- Validar el funcionamiento del equipo de maceración, por medio de la caracterización del mosto obtenido.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

La palabra cerveza proviene del latín *cervisia o cervesia*, referenciado a Ceres, la diosa de la agricultura. Durante el paso del tiempo la producción de cerveza ha ido evolucionando conforme la actividad del hombre en la agricultura y la conservación de granos. Antropólogos aseveran que el ser humano realizaba una bebida a base de raíces, frutos y cereales para su posterior fermentación alcohólica, pues esta bebida era un medio de relajación para los habitantes de aquella época. (Macek, 2019)

Los sumerios elaboraron las primeras cervezas. Por los años 500 a.C. el vino tomado como una bebida mucho más civilizada, fue el causante del desplazamiento de la cerveza, durando así hasta el siglo V d.C. donde resurgió su importancia y popularidad en Europa. La popularidad de la cerveza fue tal que muchos habitantes de la época elaboraban sus cervezas en sus hogares. Para su perfección o mejoras de la cerveza los monjes en Europa fueron los autores de la adición del lúpulo, y obtener la cerveza que hoy en día se puede producir. (Chiquito, 2018 págs. 5-6-7) Así duraron años en donde los monasterios y centros católicos eran los principales productores de cerveza, siendo en el siglo XVI con la Revolución Francesa, los negocios de cerveza de forma privada se apoderaron de la industria y mercado. La creación de la máquina de fabricación de hielo artificial en la Revolución Industrial dio el impulso a la producción de la cerveza de fermentación baja, puesto que esta máquina permitía el trabajo durante todo un año a temperaturas bajas. Y con el posterior descubrimiento de la pasteurización y la producción de vidrio, se mejoraría la producción, conservación y venta de la cerveza. (Chiquito, 2018 pág. 8)

En la actualidad la cerveza es una de las bebidas más populares en el mundo, pues generalmente se la consume en celebraciones y reuniones, por lo que con los años ha habido un crecimiento de forma industrial, en cambio de forma artesanal, aunque también existe crecimiento y poseen una variedad de sabores, no ha tenido una significancia como tal. La forma de preparación se da a base de cebada y componentes como: Lúpulo, Levadura y agua. El agua es el mayor componente de la cerveza conformando del 90 al 98%, este componente influye mucho en la caracterización de esta como también en el proceso de maceración, filtración, fermentación y carbonatación. (Paredes Espinoza, 2017 pág. 1)

En Ecuador la industria cervecera dio sus inicios en 1566; hoy en día 42 cervecerías de forma artesanal existen en el país, en ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca que son consideradas

como el mercado principal. Estas cervecerías conforman nada más que el 2% del mercado en general de la cerveza puesto que el resto lo conforma la cerveza industrial. La cerveza artesanal es un campo muy amplio para explorar como explotar, pues el desarrollo o evolución de la cerveza artesanal, aportaría al impulso de creación de pymes y por ende al crecimiento económico del país. (Martínez, 2015 págs. 8-9)

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Materia prima

2.2.1.1. Malta

La cebada (*Hordeum vulgare*), es procedente de Asia Occidental, se clasifica en dos grupos: la cebada de dos carreras considerada la cebada cervecera la cual aporta la mayor cantidad de azúcares fermentables para la producción de cerveza y la cebada de seis carreras útil para industrias grandes de producción de cerveza. Además, el grano de cebada consta de tres partes principales: cáscara, embrión y endospermo; siendo el endospermo el contenedor del almidón que se desea extraer en proceso de maceración. (Suárez Díaz, 2013 pág. 8)

A partir de un proceso de germinado, secado y tostado de la cebada se obtiene la malta. Su importancia radica en que de este producto dependerá las proteínas, enzimas y almidón que se cederá para la producción del mosto en el proceso de maceración. (Megia Carrasco, 2016 pág. 14)



Figura 1-2: Cebada malteada o malta

Realizado por: https://www.freepik.es/fotos-premium/textura-cuatro-tipos-malta-cebada-cerveza_10235160.htm

2.2.1.2. Tipos de malta

Existen dos tipos de maltas, las maltas base y las maltas especiales. A las maltas base se las almacena entre 4 y 6 semanas, pues se dice que sus propiedades características mejoran para la producción de cerveza, en cambio las maltas especiales son utilizadas de una forma breve, pues con el paso del tiempo los aromas empiezan a desaparecer. (Ferreyra, 2014 pág. 21)

Tabla 1-2. Tipos de maltas más utilizadas

MALTAS BASE	
PILSEN	Se la toma en cuenta en la mayoría de las formulaciones es de color pálido y un sabor de malta acentuado (secado a 50°C).
MUNICH	Secado mayor a 50°C, se considera dulce y suave con un color dorado hacia ámbar. Brinda cuerpo y maltosidad a las formulaciones.
VIENA	Es más claro con respecto a la malta Munich con una tonalidad dorada hacia naranja.
MALTAS ESPECIALES	
CARAMELO	Posee y brinda una variedad de colores y sabores como también cuerpo a las formulaciones, según la temperatura de caramelizado.
MALTA CHOCOLATE	Este tipo de malta se la realiza a temperaturas altas, aportando sabores tostados.
MALTA NEGRA (BLACK PATEN)	Como la malta chocolate, este tipo de malta es realizada a altas temperaturas, con la característica que brinda amargor seco, utilizado generalmente para la coloración de la cerveza.

Fuente: (Kunze, 2006)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard

2.2.1.3. Agua

El agua conforma el 90 a 95% de la composición de la cerveza, de esta dependerá mucho la calidad y caracterización del producto final. El agua por utilizar debe ser pura, potable, libre de olor y sabor, no debe contener material orgánico y excesos de sales pues esta puede influir en la actividad enzimática en la producción. (Hough, 1990 pág. 49) Aplicando las normativas INEN 2262 que el país solicita para la elaboración de mosto, el agua a utilizar debe poseer características fisicoquímicas y bacteriológicas apropiadas para favorecer los procesos cerveceros, la norma INEN que el agua debe cumplir es la NTE INEN 1 108. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009 pág. 1)

Del contenido de calcio dependerá el tipo de cerveza a elaborar, para las cervezas más ligeras como Pilsen el agua o agua blanda deberá contener un bajo nivel de calcio y las cervezas oscuras se obtienen con aguas más duras, sin embargo las aguas medianamente duras son las más adecuadas para producir la cerveza, ya que contienen pH ácidos el cual favorece la actividad enzimática, poseen concentraciones ricas de sulfato cálcico y los polifenoles que atribuyen el sabor (amargor) a la cerveza no se disuelven. (Hidalgo, 2015 pág. 10)

Las concentraciones altas de bicarbonato como de hierro son indeseables, pues el primero provoca cambios de pH en el proceso de maceración considerando una concentración de 50 mg/L (aceptable), mientras que el hierro puede depositar óxidos hidratados color rojo-marrón lo que provoca que la cerveza oscurezca por la interacción entre la malta y lúpulo. La presencia de cobre

debe ser por debajo del 0.1 mg/L ya que ocasiona alteraciones en sabor y turbidez. Sin embargo, el cloruro aporta suavidad a la cerveza en concentraciones de 150 mg/L y el cloruro de sodio aporta cuerpo a la misma en concentraciones de 75 a 150 mg/L. (Kunze, 2006)

2.2.1.4. *Lúpulo*

El lúpulo (*Humulus lupulus*) pertenece a la familia de los Cannabaceae, originaria de Europa, Norteamérica y Asia occidental, se considera una planta trepadora y una especie dioica con una variedad morfológica (Voguel, 1999), además se lo cultiva de forma asexual de tal modo se cultiva al mejor y más adecuado lúpulo para la producción del mosto y posterior cerveza. (Hough, 1990 pág. 87)

La importancia del lúpulo es que aporta principalmente al aroma y amargor para la cerveza y se comporta como precursor para la actividad de la levadura. (Gisbert) En la industria del lúpulo existen cuatro clases las cuales son: Lúpulo peletizado que genera aroma sabor y calidad de estabilidad a la cerveza, el lúpulo en pasta, la flor entera y los aceites destilados de la flor. El lúpulo de manera general aporta a la precipitación de las proteínas del mosto, a la conservación de la cerveza y formación de la espuma. (Carvajal, 2000 págs. 7-8)



Figura 2-2: Lúpulo
Realizado por: Cerveceros & El Portal del Chacinado

La sensibilidad del lúpulo hacia la degradación es alta por lo que recomiendan que su conservación sea a bajas temperaturas. (Voguel, 1999 pág. 29) El lúpulo más usado es aquel con forma de pellets los cuales son comprimidos de flores de lúpulo trituradas que poseen una mayor conservación por estar comprimidas, existen de dos tipos las pellets aromáticas y las que producen amargor, sin embargo, el lúpulo de utilidad en las grandes industrias es en forma de extracto (aceite), aunque la forma más pura del uso del lúpulo en la producción de cerveza, es adicionar las flores enteras, las que ayudaran de igual forma a la filtración de proteínas coaguladas del mosto producido. Las propiedades del lúpulo es debido a sus resinas que se almacenan en las glándulas de lupulina en distintas partes de la planta, pero principalmente en los frutos de las flores femeninas. (Merelo, y otros, 2013 págs. 31-32)

Tabla 2-2. Tipos de Lúpulo según el país.

País	Cultivo	α – ácidos (%)	Aceite (%)
AUSTRALIA	Opal	13.0	1.5
	Pride of Ringwood	9.0 - 11.0	2.0
	Super Pride	13.9	1.0
	Topaz	11.5	1.0
	Victoria	11.0 – 14.0	1.1
BELGICA	Record	5.5 – 8.5	1.8
REPUBLICA CHECA	Bor	6.5 – 11.0	1.5
	Premiant	7.0 – 11.0	1.5
	Saaz	3.0 – 4.5	0.4
	Sladek	4.0 – 8.0	1.5
INGLATERRA	Admiral	13.5 – 16.2	1.0 – 1.7
	Bramling Cross	6.0 – 7.8	0.7 – 1.0
	Brewers Gold	5.5 – 8.5	1.5
	Bulllion	6.0 – 9.0	3.2
	First Gold (Dwarf)	5.6 – 8.7	0.7 – 1.4
	Fuggle	3.0 – 5.6	0.7 – 1.1
	Goldings	4.4 – 6.7	0.8 – 1.0
	Herald (Dwarf)	11.0 – 13.0	1.0 – 2.2
	Northern Brewer	6.5 – 10.0	2.0
	Phoenix	12.0 – 15.0	1.2 – 2.5
	Progress	6.0 – 7.5	0.5 – 0.8
	Variety (WGV)	5.4 – 7.7	0.8 – 1.2
	Wye Challenger	6.5 – 8.5	1.0 – 1.5
	Wye Northdown	6.8 – 9.6	1.2 – 2.2
	Wye Target	9.9 - 12.6	1.2 – 1.4
FRANCIA	Strisselspalt	2.0 – 5.0	0.7
ALEMANIA	Hallertau Mittelfruh	3.5 – 5.0	0.6 – 1.0
	Hallertau Tradition	5.0 – 7.0	1.2 – 1.4
	Hersbrucker spat	3.0 – 5.0	0.6 – 1.0
	Huller (Bitterer)	5.0 – 7.0	1.0 – 1.3
	Magnum	12.0 – 14.0	1.6 – 2.1
	Perle	6.0 – 8.5	1.0 – 1.3
	Spalter	4.0 – 5.0	0.6 – 1.0
	Taurus	12.0 – 15.0	1.2 – 1.5
	Tettnang	3.5 – 5.0	0.4 – 1.0
NUEVA ZELANDA	Green Bullet	12.5 – 13.5	0.8
	NZ Hallertau aroma	8.5	1.25
	Pacific Gem	14.0 – 16.0	1.5
	Pacific Hallertau	6.0	1.26
	Southern Cross	11.0 – 12.0	1.2

	Stricklebract	13.5 – 14.5	1.0
	Super Alpha	12.5 – 13.5	1.5
POLONIA	Limbus	5.3	1.7
	Lubekski	4.0	1.2
	Lublin	3.5 – 4.5	1.0
	Marynka	11.1	2.3
	Oktawia	10.6	1.6
	Sybilla	7.3	1.7
	Zbyszko	8.5	1.0
	ESLOVENIA	Ahil	8.0 – 10.0
Apolon		8.0 – 10.0	1.0
Atlas		8.0 – 10.0	0.8
Aurora		8.5 – 10.5	1.0
Bobek		5.7	2.3
Blisk		6.0	1.9
Buket		8.2	2.7
Cekin		5.6	1.3
Celeia		5.4	2.1
Cerera		5.2	2.0
Cicero		8.7	1.5
Golding		4.5-6.0	0.8
SUDÁFRICA		Outeniqua	12.0 – 13.5
	Southern Brewer	9.0 – 10.5	1.5
	Southern Promise	9.5 – 11.5	0.7
	Southern Star	12.0 – 15.5	1.6
ESTADOS UNIDOS	Cascade	4.5 – 7.0	1.2
	Chelan	14.5	1.5
	Chinook	12.0 – 14.0	2.0
	Cluster	5.5 – 8.5	0.4 – 0.8
	Zeus (CTZ)	14.0 – 18.0	2.0 – 3.5
	Galena	11.0 – 13.0	0.9 – 1.4
	Horizon	13.6	1.9
	Millenium	15.5	2.0
	Mount Hood	5.0 – 8.0	1.1
	Nugget	12.0 – 14.0	2.0
	Willamette	5.0 – 7.0	1.2
	YCR-5 (Warrior)	14.5 – 16.5	1.0 – 2.0

Fuente: (Briggs, y otros, 2004)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard

2.2.2. Proceso de Elaboración de Cerveza Artesanal

2.2.2.1. Germinación

Germinar el grano es el propósito de esta etapa, pues se da una preparación de enzimas que son necesarios para el proceso de maceración. (Gisbert pág. 10). En esta etapa aparecen raicillas en la base del grano, sin embargo, este debe ser interrumpido cuando la radícula de este alcance un tamaño las $\frac{3}{4}$ partes de longitud del grano. (Vela, y otros, 2006)

2.2.2.2. Secado y Tostado

En esta etapa se da la eliminación de toda el agua posible, como también proporciona al grano propiedades que darán caracterización de sabor a la cerveza como producto final. (Gisbert pág. 11) El tostado del grano es un factor que proporciona el color al mosto, entre más tostado se obtendrá un mosto oscuro, entre menos tiempo de tostado un mosto más claro.

2.2.2.3. Molturación o Molienda

Se considera la primera etapa para elaborar cerveza, es importante porque depende de esta los azúcares necesarios para la extracción y obtención del mosto. El fin del proceso es reducir el endospermo del grano de cebada a partículas pequeñas con la cáscara intacta en lo posible, entre más pequeña la moltura favorecerá a la actividad enzimática, sin embargo, al triturar los granos en forma de harina no es lo ideal ya que presentaría dificultades en la filtración en cambio moltura gruesa afecta el rendimiento de extracción de azúcares. (Megia Carrasco, 2016 pág. 21)

2.2.2.4. Maceración

Definición

La maceración o también denominada fase de empaste, es uno de los principales procesos para producir el mosto destinado a la fermentación y obtener cerveza como producto final, en esta fase ocurre un mezclado entre la malta molida y agua en una proporción previamente calculada con un tiempo determinado (macerado). (Picón Sanchez, 2020 pág. 7). La maceración es el inicio de la degradación del almidón (Echeverría, y otros, 2010) y las transformaciones que en este proceso se producen tienen una gran importancia. (Pica, 2018 pág. 10)

Importancia

El principal propósito de la maceración se basa en la degradación completa del almidón, ya que, por medio de esta, se obtiene azúcares fermentables. Considerando a la maceración la etapa más importante para la producción de mosto que posteriormente sería transformado a cerveza artesanal por su fermentación. (Sancho, 2015 pág. 60).

Los compuestos principales que componen los azúcares fermentables son: azúcares, dextrinas, sustancias minerales y sustancias albuminoideas específicas, todas estas sustancias solubles que forman parte de la solución se la puede denominar extracto. (Pica, 2018 pág. 10) En la maceración se debe demandar de varias enzimas para conseguir una degradación de almidón a glucosa la mayor cantidad posible. A continuación, se detalla de manera general las enzimas presentes en el proceso de maceración.

Tabla 3-2. Condiciones óptimas para la activación de las enzimas en el proceso de maceración

Enzima	Rango óptimo de Temperatura	Rango óptimo de PH	Función
<i>Fitasa</i>	30 - 52°C	4.4 - 5.5	Disminución del pH de la maceración.
<i>Beta Glucanasa</i>	37 - 45°C	4.5 - 5.0	Se encarga de romper los betaglucanos pertenecientes a los cereales que no han sido malteados o que son poco modificados, los cuales causan que haya una alta viscosidad, y, por ende, problemas para filtrar.
<i>Peptidasa</i>	45 - 57°C	4.6 - 5.2	Se encarga de la producción de nitrógeno libre de aminoácidos.
<i>Proteasa</i>	45 - 57°C	4.6 - 5.2	Se encargan de romper las grandes proteínas contenidas en la malta para evitar que produzcan turbiedad.
<i>Beta Amilasa</i>	54 - 66°C	5.0 - 5.6	Favorecen a la producción de azúcares soberanamente fermentables.
<i>Alpha Amilasa</i>	68 - 75°C	5.3 - 5.8	Producción de azúcares menos fermentables.

Fuente: (Merelo, y otros, 2013 pág. 77)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard

Las enzimas que intervienen en el proceso de maceración se pueden dividir en 2 grupos: las proteasas y las amilasas. Las proteasas son las encargadas de degradar a las proteínas en componentes proteicos más simples que contienen un peso moléculas más bajo los cuales beneficiarán a las levaduras en la etapa de la fermentación pues permite la retención de la espuma como cuerpo a la cerveza como producto final. (Merelo, y otros, 2013 pág. 76). Las amilasas en cambio degradan el almidón o amilosa hasta obtener azúcar y dextrinas las cuales son sustancias intermedias entre la glucosa y el almidón, este grupo se presenta en dos formas α -amilasas y β -amilasas. (Voguel, 1999 pág. 49), las α -amilasas son beneficiosas pues reducen la viscosidad del mosto permitiendo su licuefacción además de considerarse como sustancias dextrinógenas, al realizar pruebas de yodo, la presencia de estas se demuestra con una coloración generalmente de

negro azulado a marrón rojizo, esta coloración mostrará que están presentes dextrinas que no son fermentables pero aportan al sabor (dulzor) del mosto; con respecto a las β -amilasas, son las encargadas de la producción de azúcares fermentables, estos productos serán transformados en alcohol y dióxido de carbono en la etapa de fermentación. (Merelo, y otros, 2013 pág. 76)

Fases de la Maceración

La maceración está comprendida en 4 etapas, donde se van a desarrollar las diferentes enzimas, las cuales son:

- Fase pre - degradativa del almidón:

En esta fase se produce la acidificación del macerado ocurre dejando reposar la materia prima entre 30 a 50°C favoreciendo la absorción del agua en la malta. Al mismo tiempo se obtiene la degradación de proteínas y beta - glucanos cuando la materia es reposada entre los 40°C a 50°C, existiendo un umbral en los 40°C se debe tomar en cuenta debido a que si no se puede superar el mismo puede favorecer solo a la degradación de beta - glucanos o a la degradación de las proteínas. Autores recomiendan realizar esta fase cuando se trabaje con maltas poco modificadas o agua que posea un pH elevado. (Picón Sanchez, 2020 pág. 7)

- Fase de sacarificación:

El rango de temperatura a tomar en cuenta en esta fase es entre 60 a 65°C, se considera una etapa muy necesaria pues en esta se favorece la activación de la enzima beta amilasa en el almidón permitiendo el desarrollo de maltosa, se lo realiza en un tiempo mínimo de 20 minutos dejando reposar la materia prima. (Picón Sánchez, 2020, pág. 7)

- Fase de licuefacción:

En esta fase se produce la activación de la alfa amilasa, degradándola en varios azúcares simples, se lleva a cabo manteniendo la materia prima en un rango de temperatura de 70 a 75°C, siendo de igual forma una fase muy necesaria en el proceso de maceración pues se puede dar un control de reacción normal del yodo. (Picón Sánchez, 2020, pág. 7)

- Fase de inactivación de enzimas

Esta fase no es muy necesaria, pero se realiza habitualmente, se da en un tiempo de entre 10 a 15 minutos con un rango de temperatura entre los 78 a 80°C, permite la reducción de viscosidad del mosto, facilitando la liberación del extracto, inactivando las enzimas evitando la desnaturalización de las proteínas. (Picón Sánchez, 2020, pág. 7)

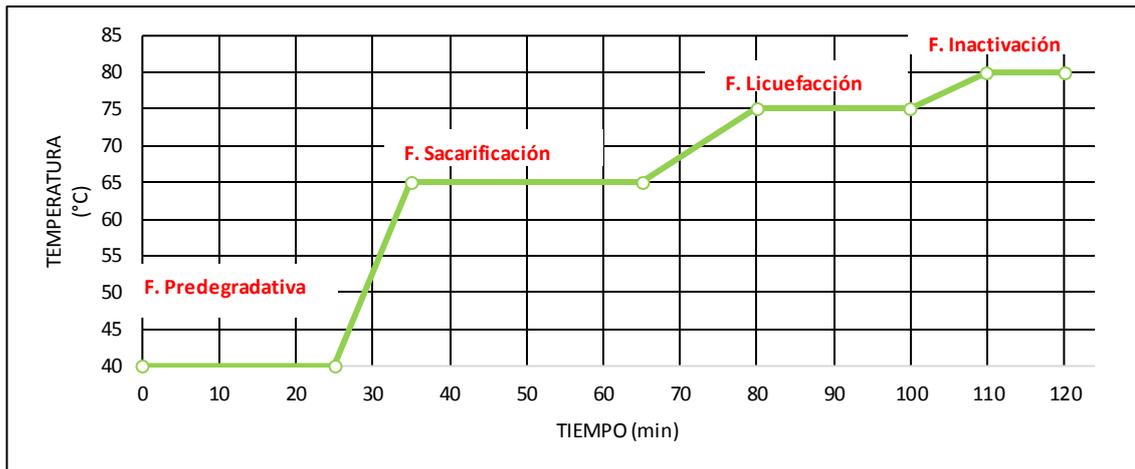


Gráfico 1-2. Etapas del proceso de maceración.

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Tipos de maceración

- **Maceración Simple**

La Maceración simple consiste en realizar la mezcla entre agua y la malta molida a una temperatura de 35 o 53 °C, para su inicio se debe considerar que la temperatura de la malta y el agua a un volumen mínimo se encuentren al ambiente (20°C), donde el agua calentada previamente a 40 °C es vertida en el recipiente que contiene la malta, obteniendo así una temperatura aproximada del macerado de 35°C. En cambio, para conseguir una temperatura de macerado de 53°C, el agua debe ser calentada a 62°C para ser vertida a la mezcla de malta y agua. Durante el macerado se deberá remover de forma continua para obtener una distribución de calor adecuada. El tiempo en este tipo de maceración es aproximadamente de 12 horas, donde se disolverán la mayoría de los componentes solubles a partir de la malta, además se debe tomar en cuenta que la mezcla al pasar los 18°C es propensa a contaminación debido a la actividad de microorganismos que pueden ocasionar la acidificación del mosto. (Voguel, 1999 págs. 51-52-53)

- **Maceración por Infusión Simple**

En este tipo de maceración su eficacia no es muy buena debido a que se realiza a una sola temperatura, donde no se realiza una correcta degradación de todos los azúcares como tampoco se da el aprovechamiento adecuado de las enzimas. En esta maceración se realiza solo la fase de sacarificación, consiste en calentar agua de 70 a 75°C, misma que será vertida donde se encuentra la malta de modo que el empaste o mezcla llegará alrededor de 64 a 68°C, temperatura en la que se activan las enzimas amilasas, de igual forma se debe mantener una agitación lenta y su tiempo aproximado de duración del proceso es de 1 a 2 horas. (Megia Carrasco , 2016 pág. 27)

- **Maceración Escalonada**

En este tipo de maceración se produce un calentamiento continuo con un estacionamiento en distintas escalas de temperatura con un tiempo determinado, de esta forma la degradación del almidón y la actividad de las enzimas se verán favorecidas durante el proceso. La manera en cómo se divide las escalas de temperatura como el tiempo de duración de cada una de estas, dependerá del tipo de cerveza que se quiera elaborar, sin embargo, algunos escalones de temperatura se pueden omitir. (Megia Carrasco , 2016 pág. 28)

A continuación, se pueden mencionar diferentes tipos de maceración escalonada:

- ✓ Inicio de Mezcla: 35°C
- ✓ Elevación: 52°C
- ✓ Estacionamiento: 30 minutos
- ✓ Elevación: 65°C
- ✓ Estacionamiento: 30 minutos con agitación de 2 a 3 minutos
- ✓ Elevación: 72°C
- ✓ Estacionamiento: 30 minutos
- ✓ Elevación: 78°C
- ✓ Estacionamiento: entre 10 a 15 minutos
- ✓ Filtración: Prueba de yodo negativa (Voguel, 1999 pág. 58)

Otro método sugerido por (Merelo, y otros, 2013 pág. 77) es:

- ✓ Inicio de Mezcla: 60°C la temperatura del agua para que al agregar la malta descienda hasta 53°C
- ✓ Estacionamiento: 30 minutos
- ✓ Elevación: 63°C
- ✓ Estacionamiento: 30 minutos con agitación de 2 a 3 minutos
- ✓ Elevación: 73°C
- ✓ Estacionamiento: 30 minutos
- ✓ Filtración: Prueba de yodo negativa

- **Maceración por Decocción**

En cuanto a este tipo de maceración consiste en extraer parte de la mezcla o empaste y someterlo a cocción durante un tiempo determinado para luego verterlo en el recipiente del empaste inicial, de esta forma se da la elevación de temperatura requerida. (Megia Carrasco , 2016 pág. 28) Las ventajas que brinda este método es que se disuelven los compuestos deseados como también facilita la actividad de las enzimas, además aporta a sabor cuerpo y calidad, por el contrario, demanda de mayor consumo de energía y se necesitan dos contenedores, oscurece el mosto y destruye enzimas durante la cocción. Se puede mencionar distintos métodos de este tipo:

Tabla 4-2. Métodos de maceración por Decocción

Maceración Simple	Maceración Doble
<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de cerveza: Pilsen, Lager, Alt - Inicio de Mezcla: 55°C - Separación del 60% del mosto - Elevación: 65°C - Estacionamiento: 30 minutos con agitación de 2 a 3 minutos - Elevación: 76°C - Estacionamiento: 30 minutos - Cocción del 65% por 30 minutos y retorno a la mezcla alcanzando una temperatura de 76°C - Estacionamiento: 30 minutos - Filtración: Prueba de yodo negativa 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de cerveza: Pilsen, Lager, Weizen - Inicio de Mezcla: 52°C - Separación del 30% del mosto - Elevación: 70°C - Estacionamiento: 15 minutos con agitación de 2 a 3 minutos - Cocción del 30% por 15 minutos y retorno a la mezcla alcanzando una temperatura de 64°C - Separación del 45% del mosto - Cocción del 45% por 30 minutos y retorno a la mezcla. - Estacionamiento: 20 minutos - Filtración: Prueba de yodo negativa
Maceración Triple	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de cerveza: Para todas las oscuras y fermentación alta, Export - Inicio de Mezcla: 35°C - Separación del 33% del mosto - Elevación: 70°C - Estacionamiento: 15 minutos con agitación de 2 a 3 minutos - Cocción del 33% por 20 minutos y retorno a la mezcla alcanzando una temperatura de 53°C - Separación del 65% del mosto - Cocción del 65% por 30 minutos y retorno a la mezcla alcanzando una temperatura de 65°C - Separación del 44% del mosto - Cocción del 44% por 25 minutos y retorno a la mezcla - Estacionamiento: 15 minutos - Filtración: Prueba de yodo negativa 	

Fuente: (Voguel, 1999 pág. 58)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

2.2.2.5. Factores que afectan las condiciones de maceración

- **Densidad (Relación agua-grano)**

En estudios anteriores se ha definido un estándar con relación a la densidad del empaste o relación agua/grano. De esta relación dependerá el volumen a ocupar en el macerador, siendo la relación 3 a 1 en peso (agua/grano) el estándar sugerido, también depende del tipo de cerveza que se desee producir. Sin embargo, si esta relación es menor a 2,1L/Kg (agua/grano) la densidad puede elevarse provocando problemas con las enzimas puesto que el agua aporta a la actividad enzimática además de traer conflictos en la filtración como en el mezclado. (Megia Carrasco, 2016 pág. 24)

- **Temperatura**

De la temperatura depende mucho el contenido de azúcares fermentables como dextrinas, si se somete el empaste a una temperatura entre 62 a 63°C se obtiene gran cantidad de maltosa, la cual es beneficiosa para un alto contenido alcohólico en la fermentación debido al tiempo de retención de la levadura en suspensión (Pica, 2018), por otra parte, si se mantiene la temperatura entre 72-75°C se favorece la obtención de dextrinas las cuales durante la fermentación brinda cuerpo pero baja el contenido alcohólico. (Megia Carrasco , 2016 pág. 24) Al ser una variable fundamental en el proceso de maceración debe tener periodos de reposo o estacionamientos para la formación de las enzimas como azúcares necesarios. Se debe tomar en cuenta que llevar el macerado a temperaturas mayores a 78°C la α -amilasa se inactiva. (Pica, 2018 pág. 14)

- **Tiempo**

El tiempo que emplear en el proceso depende del tipo de maceración que se vaya a realizar, tomando en cuenta que se suman los tiempos si es escalonada. Hay que tomar en cuenta que durante el proceso las enzimas no trabajan uniformemente. (Pica, 2018 pág. 15)

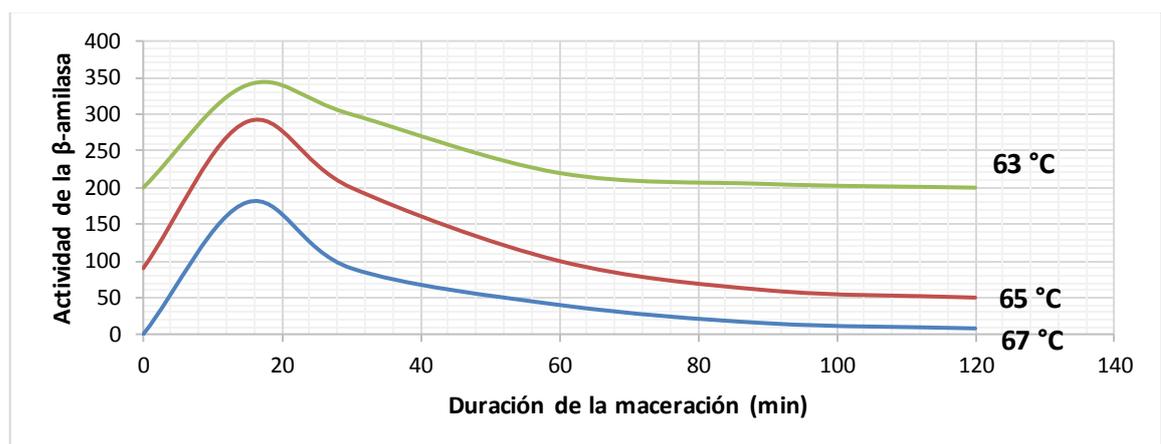


Gráfico 2-2. Actividad enzimática

Fuente: (Pica, 2018)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard

Como se puede observar en el gráfico 2-2 la actividad enzimática es mayor en un tiempo de entre 10 a 30 minutos, y después esta decae rápidamente a partir de los 40-60 minutos. Si se realizan tiempos escalonados la extracción en el proceso aumenta, además la maceración entre los 62-63 °C aporta fermentabilidad al mosto. (Megia Carrasco , 2016)

- **PH**

El pH estándar para el proceso de maceración donde la actividad enzimática es mayor está entre 5.2 a 5.5, pues como el tiempo este rango de pH es óptimo para la producción de extracto de mosto de mayor fermentabilidad. A continuación, se presenta un diagrama de la actividad enzimática según el nivel de pH.

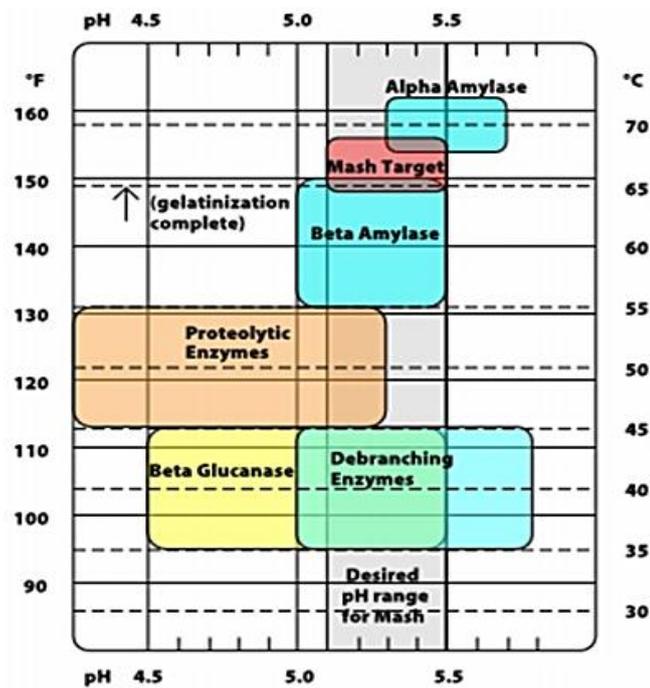


Gráfico 3-2. Comportamiento de enzimas en niveles de Ph y Temperatura

Fuente: (Megia Carrasco, 2016)

2.2.2.6. *Aspersión*

La aspersion consiste en la recirculación del mosto con el fin de arrastrar los almidones o glúcidos retenidos en los granos, aportando así de igual manera a la clarificación del mosto. (Huxley, 2006), de forma adicional se puede recircular agua caliente a 70°C para aumentar la productividad de los azúcares fermentables, sin embargo, esta temperatura no debe sobrepasar los 80°C debido a que aportaría condiciones que perjudiquen el sabor y cuerpo del mosto. (Gisbert pág. 15) La velocidad de aspersion debe ser de manera lenta (10 litros por minuto por m² del macerador) ya que a mayores velocidades ocasionaría un levantamiento del bagazo dificultando la filtración. (Merelo, y otros, 2013 pág. 78)

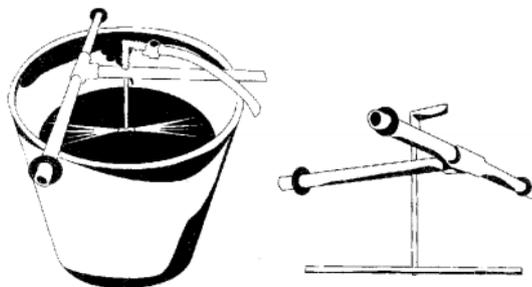


Figura 3-2. Sistema de aspersion o sparging

Fuente: (Huxley, 2006)

2.2.2.7. *Filtración*

Este proceso no es más que separar el extracto líquido del bagazo o residuo de malta, el residuo quedará atrapado en el filtro mientras que el mosto será filtrado para su posterior cocción. El primer mosto extraído es el que posee más compuestos fermentables requeridos el cual está entre los 15 a 20 °P (Grados Plato). (Picón Sanchez, 2020 pág. 9) De igual forma que en la aspersion se debe tomar en cuenta el límite recomendado de la velocidad de filtración, como también durante este proceso en lo posible se debe evitar el contacto de aire hacia el mosto. El residuo seco o bagazo puede ser de utilidad para alimentación de animales, como en la agricultura para abono y cultivo. (Aroni, y otros, 2015 pág. 25)

2.2.2.8. *Cocción (Wort Boiling)*

La cocción consiste en dejar hervir el mosto filtrado obtenido de la maceración, además de la adicción del lúpulo. El fin de realizar la cocción del mosto es porque se obtiene el amargor y aroma que el lúpulo proporciona, también se coagulan y precipitan proteínas que no son necesarias las cuales se enlazan con los taninos de lúpulo y malta, destruyen las enzimas eliminando su actividad puesto que al existir estas podrían cambiar la estructura de los azúcares de tal forma que ya no serían de utilidad, se esteriliza el mosto de agentes patógenos (bacterias, mohos, bacilos) los cuales no son dañinos para el ser humano, pero causan afecciones al cuerpo y sabor del mosto a corto o largo plazo y por último se elimina di-metilo de sulfuro (DMS) el cual causa cierto sabor no deseable. (Aroni, y otros, 2015 pág. 26)

Según (Hough, 1990 pág. 103) la cocción suele durar entre 60 a 90 min. Es así cuando el mosto está a punto de hervir se presentará espuma de color marrón la cual no es recomendable quitarla puesto que posee nutrientes para las levaduras en la fermentación, además se debe considerar que cada adición de lúpulo se considera un punto crítico. (Kunze, 2006) La cantidad de lúpulo que se debe agregar al mosto depende de la clase de cerveza que se desee producir. (Voguel, 1999 pág. 66).

La adición del lúpulo se puede realizar por distintos métodos:

- Adicionar el lúpulo al inicio de la cocción de modo que la extracción del amargor se dará al cabo de 1 hora después.
- Para proporcionar aroma al mosto, el lúpulo se debe adicionar a los 10 minutos antes de que finalice la cocción.
- Con respecto al sabor del mosto, se debe adicionar 20 minutos antes de finalizar la cocción, además otros cerveceros aprovechan este tiempo para añadir adjuntos que proporcionen sabores y aromas al mosto. (Sancho, 2015 pág. 31)

2.2.2.9. *Enfriamiento (Wort Cooling)*

Después de concluir la cocción del mosto lupulado, se procede a someterlo a bajas temperaturas, esta temperatura debe ser la adecuada para que las levaduras puedan sobrevivir. La reducción de temperatura se recomienda ser rápida para la eliminación de microorganismos. (Merelo, y otros, 2013 pág. 80) La temperatura estándar a enfriar el mosto es de 20°C para fermentación alta y 10°C para fermentación baja. (Picón Sanchez, 2020 pág. 11). Se debe tomar en cuenta que el mosto no puede estar mucho tiempo en temperaturas de entre 30 a 50°C pues es el rango donde es más posible la contaminación como también para ahorrar tiempo. (Huxley, 2006)

2.2.2.10. *Fermentación*

La fermentación es el proceso en el cual microorganismos metabolizan los azúcares fermentables en alcohol y dióxido de carbono. Los microorganismos empleados son levaduras, los cuales dependen del oxígeno y nitrógeno para duplicarse o triplicarse, por lo que al acabarse el oxígeno la reproducción de las levaduras se verá detenido, dando inicio al proceso anaerobio, obteniendo alcohol y Dióxido de Carbono. (Hidalgo, 2015 págs. 11-12) La temperatura óptima para que las levaduras puedan sobrevivir e interactuar con los nutrientes del mosto es de entre 20 a 25°C, además la producción de alcohol dependerá mucho del método de maceración aplicado.

2.2.2.11. *Maduración*

La maduración consiste en dejar reposar la cerveza en contenedores, el tiempo dependerá del tipo de cerveza que se desee elaborar. (Ruiz , 2010) Se deja reposar en los contenedores hasta que decanten los sedimentos que se encuentran en suspensión, es necesario retirar estos sedimentos debido a que existen levaduras muertas donde las vivas podrían consumirlas y provocar alteraciones en el sabor de la cerveza. (Merelo, y otros, 2013 pág. 82)

2.2.2.12. *Carbonatación y Embotellado*

Terminada la maduración las suelen existir levaduras aun en suspensión de forma inactiva ya que no existe azúcares que puedan consumirlas. Se puede realizar carbonatación de forma natural añadiendo azúcar previamente calculada y disuelta en agua caliente dependiendo del nivel de CO₂ que se quiera agregar posteriormente se lo embotella y se espera que las levaduras consuman y se produzca gas. Otro método de carbonatación es de manera artificial el cual consiste en inyectar CO₂ comprimido en las botellas donde se va a embotellar la cerveza. (Merelo, y otros, 2013 págs. 82-83)

2.2.3. Caracterización del Mosto

2.2.3.1. Características organolépticas

- **Color, Olor y sabor:** se realiza de manera subjetiva, tomando en cuenta que no deben existir la presencia de olores extraños que no sean característicos de las maltas, además de la poca o alta intensidad.
- **Transparencia:** El mosto de marea visual puede ser, transparente, opalescente y turbio. (Arias, 1991)

2.2.3.2. Requisitos Fisicoquímicos

- **Prueba de yodo**

Se debe determinar al finalizar la maceración, que en el mosto no exista nada de almidón ni cantidades elevadas de dextrina, para lo cual puede usarse pruebas de yodo para evitar el enturbiamiento posterior. Esta prueba se basa en teñir de azul cualquier líquido que contenga almidón, cabe recalcar que entre menos coloración de azul existe una degradación mayor del almidón, por lo que el yodo coloreará el mosto macerado en primer lugar un tono marrón rojizo, seguido de amarillo rojizo y finalmente amarillo. (Megia Carrasco , 2016 pág. 28)

- **Determinación de grados Brix o Grados plato**

Para determinar los grados plato se debe realizar por medio del método de ensayo AOAC 945.30 B. (a), tabla 942.33 columna grados Brix, Señalado en la normativa INEN 2302:2009.

Tabla 5-2. Requisitos fisicoquímicos de la bebida de malta

Requisito	Mín	Max	Método de ensayo
Extracto total expresado como ° Plato o %m/m	7,5	-	AOAC 945.30 B. (a), tabla 942.33 columna grados Brix

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

2.2.3.3. Requisitos microbiológicos

Con respecto a los requisitos microbiológicos se debe cumplir con la normativa INEN 2302:2009 la cual muestra los parámetros máximos y mínimos que el mosto debe cumplir.

Tabla 6-2. Requisitos microbiológicos para la bebida de malta

Requisitos	Mín	Max	Método de ensayo
Mohos, ufc/cm ³	< 1	10	NTE INEN 1529-10
Levaduras, ufc/cm ³	< 1	10	
Recuento estándar en placa REP ufc/cm ³	≤100	100	NTE INEN 1529-5

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

CAPÍTULO III.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Estudio

El diseño y construcción de un equipo de maceración como parte de una línea de proceso para la producción de cerveza artesanal, es un proyecto de tipo técnico, el cual se ha realizado por medio del método experimental, el cual permitirá obtener un equipo de maceración como etapa inicial en la línea de proceso para obtener cerveza artesanal.

3.2. Método experimental

Para el diseño y construcción del equipo se tomaron en cuenta fundamentos bibliográficos como libros y papers. Basados en los registros previos se tomó en cuenta las variables importantes involucradas en el proceso de maceración, para lo cual, tomando los datos importantes se procedió a realizar experimentaciones de modo que se mostrara las partes a realizar en la construcción del equipo, además que su dimensión ha sido tomada en cuenta por proyectos realizados anteriormente en otras instituciones, como también las dimensiones sugeridas por profesionales mismos que contribuyeron con la construcción del equipo.

3.3. Determinación de las variables del proceso

3.3.1. Temperatura

La temperatura es la variable más importante en el proceso de maceración ya que se requiere de un rango en específico para la correcta actividad enzimática. Es por esto que se ha optado tomar en cuenta la temperatura entre 63(β-amilasa) a 70°C(α-amilasa), siendo 67°C temperatura ideal para la mayor actividad enzimática, siendo un punto medio para la obtención de un mosto con sabor y cuerpo.

3.3.2. pH

El pH es importante debido a que de este depende las enzimas para su actividad, siendo un rango de entre 5.2 a 5.5 lo ideal para que se obtenga una mayor actividad entre β-amilasa y α-amilasa y por ende obtener tanto azucares fermentables como no fermentables.

3.3.3. Densidad

De la densidad del empaste o relación grano /agua dependerá la capacidad de filtración como la actividad enzimática, pues al poseer un medio líquido la actividad de las enzimas será favorable,

y por ende la filtración será de una manera fácil. El rango óptimo es de 3 a 1 (litros de agua/Kg de malta).

3.3.4. Tiempo

El tiempo es crucial para la maceración como para la cocción, en la maceración la actividad enzimática es óptima en un tiempo de 90 min a 67°C. También depende del tipo de maceración que se desee realizar, en este caso se trabajará con infusión simple. Con respecto a la cocción de igual manera se tomarán en cuenta 60 min, además del tiempo dependerá la adición del lúpulo dependiendo del gusto, este puede ser adicionado al principio como a los pocos minutos de terminar la cocción, dándole características al mosto como amargor, sabor y aroma.

3.4. Diseño del Equipo de Producción de Mosto

3.4.1. Normas para la construcción del Equipo

La construcción de equipos industriales demanda la utilización de diversas normas, que admiten seleccionar materiales, accesorios y realizar diversas pruebas que permitan construir equipos con especificaciones propias pero normadas. Respecto a la construcción de los equipos, lo primero es seleccionar un método de fabricación, tomando en cuenta ciertas consideraciones tales como la selección del material, el tipo de soldadura, además de tomar en cuenta aquellas ventajas y desventajas de utilizar los diferentes métodos.

Existen diferentes organizaciones y sociedades dedicadas a proporcionar aquellas normas importantes para la construcción de equipos, entre ellas tenemos a API (American Petroleum Institute) y ASME (American Society of Mechanical Engineers), de las cuales, respecto a tanques de almacenamiento nos basamos en la API 650-2017 que nos brinda los requisitos mínimos para el diseño, fabricación, instalación y materiales de cilindros verticales no refrigerados a presión atmosférica, mientras que para la obtención de códigos de diseño de forma general se hace uso de la norma ASME sección VII, división II, la cual nos facilita los métodos de construcción, el principal método para tanques de almacenamiento de alimentos es el de soldadura. La elección del tipo de soldadura viene apoyada de la norma API 650-2017, en la cual se expone que la soldadura ideal para evitar corrosión es GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), ya que es propia para soldar tanques pequeños de acero inoxidable.

3.4.2. Selección del material de construcción

El material seleccionado para la construcción del equipo de maceración, cocción, sistema de válvulas, serpentín y tuberías que componen al mismo, es el acero inoxidable AISI 304L (Material idóneo para tanques de uso alimenticio), la elección depende de ciertas cualidades y sobre todo

la disposición económica, entre los materiales a elegir se encuentran el AISI 304L y AISI 316L, estos dos tipos de aceros son muy resistentes y gozan de características tales como: resistencia a la corrosión y oxidación. El más conocido es el AISI 304 L, junto con el bajo precio es el material más atractivo para construcción de equipos en fábricas pequeñas.

Tabla 1-3. Normas Seleccionadas para la construcción del Equipo

Dimensión	Especificación	Norma Seleccionada
Tipo de acero	AISI 304 L	Tabla 1 A, Sección II Materiales Parte D, Código ASME
Eficiencia de las soldaduras	0.7	Tabla UW-12, Subsección B, parte UW-12 Eficiencia de las juntas, Código ASME
Ancho de pared (mm)	3	Subsección A, parte UG-32 Cabezales y secciones bajo presión en el lado cóncavo, Código ASME
Radio esférico interno (mm)	270	Subsección A, parte UG-32 Cabezales y secciones bajo presión en el lado cóncavo, Código ASME
Altura del cabezal (mm)	75	Subsección A, parte UG-32 Cabezales y secciones bajo presión en el lado cóncavo, Código ASME

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Tabla 2-3. Propiedades de la Selección del Material

Propiedad	Especificación	Norma Seleccionada
Composición	18 % Cr, 8% Ni	Tabla 1 A, Sección II Materiales Parte D, Código ASME
Tolerancia de corrosión (mm)	1.6	Apéndice G, API 620

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.3. Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.

3.4.3.1. Elementos utilizados para la construcción del equipo

Acero inoxidable AISI 304

Este tipo de acero inoxidable es austenítico no magnético, este acero no puede ser endurecido por medio de tratamiento térmico, siendo muy dúctil además de poseer una soldabilidad buena. El

acero más popular es del tipo 304, el cual posee cromo y níquel con bajo contenido en carbono. Este tipo de acero se puede aplicar en industrias como: alimenticia, cervecera, azucarera, cueros, farmacéutica, transporte, aeronáutica y transporte.

Este tipo 304 posee diferentes acabados:

- **2B:** Son planchas laminadas en frío con un acabado mate y protección de PVC
- **N4:** Son planchas que está pulidas a una cara con una protección de PVC y la otra cara con un acabo 2B.
- **N1:** Son planchas laminadas en caliente las cuales son tratadas de forma térmica con decapadas química y mecánicamente. (Aceros, 2021)

Con este acero se puede trabajar en frío facilitando el trabajo ya sea en doblados, cilindrados, embutido profundo, etc. no obstante al poseer un alto nivel de endurecimiento provoca que se necesite de mayor esfuerzo para el proceso de conformado. (Carbone, 2021)

Las propiedades mecánicas del acero 304 son las siguientes:

Tabla 3-3. Propiedades físicas

Densidad	7.93 g/cm ³
Punto de Fusión	1398 – 1454 °C
Calor Específico	500 J/ (Kg K) a 20 °C
Resistividad eléctrica	0.73 μΩm (20°C)
Permeabilidad magnética	1.02 (aproximado)
Modulo elástico	193 GPa (28x10 ⁶ psi)
Difusividad térmica	3.84 mm ² /s
Coefficiente de conductividad térmica	16.3 (100°C) 21.5 (500°C)
Coefficiente de dilatación lineal	17.2 (0-100 °C) 17.8 (0-300°C) 18.4 (0-500°C)

Fuente: (Material, 2020)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Es por todas estas propiedades que el material principal tanto en tuberías, filtro y serpentín como en los recipientes formados para cocción y maceración es el acero inoxidable AISI 304, pues facilita el trabajo además de ser adecuado para el tipo de proceso que se va a producir.

Válvulas de bola

Para el paso del fluido de trabajo en el equipo de maceración se ha optado por válvulas de bola de acero inoxidable ASTM A351 roscada de 2 piezas 2006SC. Estas válvulas poseen empaquetadura y juntas PTFE, un dispositivo de bloqueo o locking device, poseen un eje no eyectable con pruebas API 598, las cuales están certificadas por PED/97/23/CE. (KLINGER, 2018)



Figura 1-3. Válvula de bola

Fuente: (KLINGER, 2018)

Partes que conforman una válvula de bola según el catálogo de KLINGER, 2018:

Tabla 4-3. Componentes de una válvula de bola

N°	Parte	Tipo de material del que está compuesto
1	Cuerpo	ASTM A351 CF8M (1.4408)
2	Tapa	
3	Esfera	
4	Junta cuerpo	PTFE
5	Asientos	PTFE / R-TFE / C-TFE
6	Arandela	PTFE
7	Empaquetadura	
8	Eje	ASTM A276 316
9	Tuerca prensaes- topas	AISI 304
10	Arandela muelle	
11	Tuerca eje	
12	Palanca	
13	Dispositivo bloqueo	
14	Camisa palanca	PVC

Fuente: (KLINGER, 2018)

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

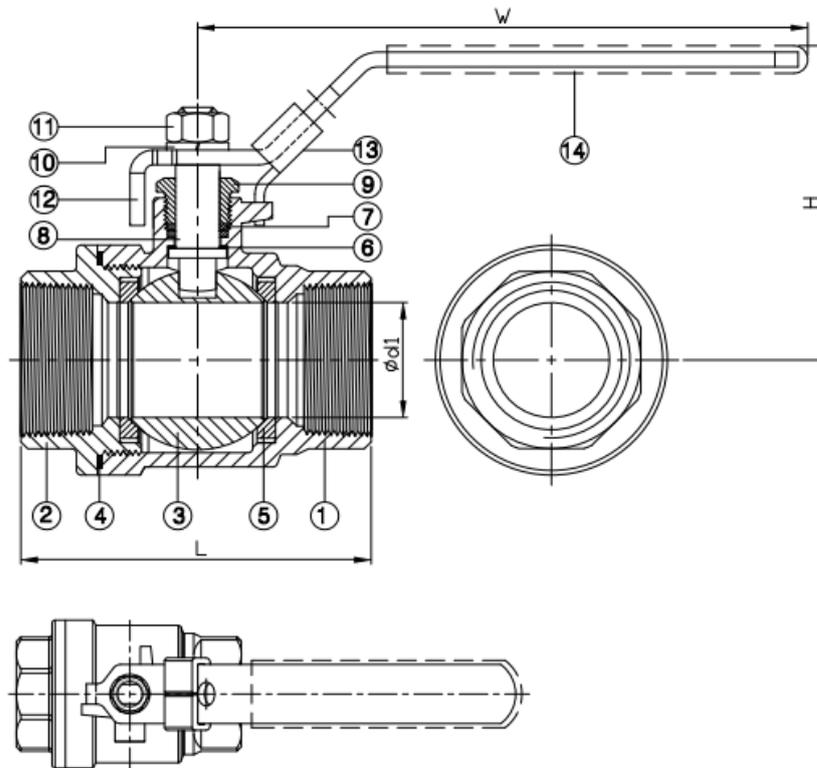


Figura 2-3. Componentes de una válvula de bola
Fuente: (KLINGER, 2018)

Válvula industrial de Gas

Para el sistema de calentamiento se requiere de una válvula de gas, para el equipo se ha optado por una válvula de perrilla con entrada de 22 mm tipo Kosan y una salida de pitón manguera de 10 mm, esta válvula se ajusta a la presión del tanque y es de color dorada.



Figura 3-3. Válvula de perilla
Fuente: (VINIGAS,s.f.)

Quemador industrial de hierro fundido

El calentamiento de los recipientes de cocción y maceración como de la materia prima será a cargo de quemadores de hierro fundido los cuales proporcionarán un poder calórico suficiente para las diferentes etapas del proceso.



Figura 4-3. Quemadores industriales de hierro fundido
Fuente: (Alibaba)

Termómetro

Para medir la temperatura del proceso de maceración como de cocción, se ha optado por implementar termómetros analógicos con un rango de medición de 0 a 120 °C y de 32 a 250 °F. Este termómetro es bimetálico en forma de esfera, además es de uso industrial pues es de acero inoxidable. Se los puede utilizar en maquinarias, depósitos de tuberías e instalaciones para motorizar la temperatura de procesos, estos se deben proteger con termo pozos para la protección de este. (Direct Industry, s.f.)



Figura 5-3. Termómetro analógico (Bimetálico)
Fuente: Direct Industy

Bomba

La bomba optada en el equipo de maceración es del modelo APM 37 de 1/2 Hp. El cuerpo de la bomba es de hierro fundido el cual posee un tratamiento especial anticorrosión y bocas roscadas. Este tipo de bombas son recomendadas para el bombeo de agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con materiales que constituyen la bomba, en otro caso se usa

en domicilios como también en la industria, generalmente en sistemas automáticos de riego y pequeños equipos de presión. (ElectromecánicaMM)



Figura 6-3. Bomba centrífuga periférica
Fuente: (ElectromecánicaMM)

Tabla 5-3. Especificaciones de la bomba

Marca	Leo
Modelo	APm37
Hp	0.5
Kw	0.37
Voltaje	110/220 V
Flujo máx	35 L/min
Altura máx.	40 m
Altura min.	5 m
Succión máx	8 m
Capacitor	20 μ F

Realizador por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Abrazaderas

Las uniones clamp con abrazadera y junta son las que se implementaron en el equipo de maceración para la conexión de la tubería posicionada entre recipiente de maceración y cocción. Este tipo de abrazaderas son de acero inoxidable 316 o 304 con tamaños de 1/2 a 12 pulgadas. (DIISA, 2012)



Figura 7-3. Abrazadera Clamp de un solo perno con empaque
Fuente: (Manometrix)

En una de las caras de la férula contiene una ranura o espacio donde se coloca el empaque, la abrazadera contiene una fuerza mecánica que comprime el empaque entre las dos férulas. (Manometrix) Es así que las abrazaderas que se utilizan en el equipo son de 1 ½” con reducción a 1.

Tubería de acero inoxidable

Las tuberías de acero inoxidable se componen de elementos como Níquel y Cromo pues brinda mejor resistencia para la corrosión en los diferentes ambientes. Generalmente se utilizan en la industria como en el ámbito doméstico tuberías de acero inoxidable 304 y 316 según la normalización ASTM A312, A213, A270, etc. Se considera al tubo un acero hueco que posee longitud con forma circular. Por sus propiedades este tipo de tuberías de ¾” se implementan en el equipo de maceración que conectarán y servirán el transporte del fluido de trabajo entre el recipiente de maceración como el de cocción, además que será de utilidad para la limpieza antes y después de su utilización. (OCTAL)



Figura 8-3. Tubería de Acero Inoxidable
Fuente: (OCTAL)

Tabla 6-3. Cuadro resumen de los materiales utilizados para la construcción del equipo

Sección	Marca / tipo de material	Medidas	Función
Recipiente de maceración	ACERO INOXIDABLE ASIS 304	40 x 93 cm (2 mm de espesor) capacidad de 64.36 L	Almacenar el empaste hasta la culminación de la maceración.
Recipiente de cocción	ACERO INOXIDABLE ASIS 304	40 x 93 cm (2 mm de espesor) capacidad 64.36 L	Almacenar el mosto hasta la esterilización y lupulado del mismo.
Filtro	ACERO INOXIDABLE AISI 304	Malla de 39 x 5 cm	Separar el extracto del mosto dulce.
Serpentín	ACERO INOXIDABLE AISI 304	Longitud de 8.65 m, con diámetro de 26 cm y 51 cm de altura.	Enfriar el Mosto hasta alcanzar la temperatura óptima para el ingreso al fermentador.
Tubería	ACERO INOXIDABLE AISI 304	1" x 1,55mm	Conducir los diferentes fluidos de trabajo.
Válvulas de bola	ACERO INOXIDABLE	¾ de vuelta ½	Permitir o retener los fluidos de trabajo.
Válvula de gas	Metálica	De perilla	Permitir o retener el paso de GLP.
Bomba	LEO	3450 rpm y ½ hp	Impulsar los fluidos hacia el fin deseado.
Termómetros	Analógico	0 a 120 °C	Medir la temperatura de maceración y cocción.
Abrazaderas	ACERO INOXIDABLE	1" ½ con reducción a 1"	Permiten desmontar las tuberías para facilitar el transporte y limpieza de estas.
Quemador industrial	Hierro Fundido	16.5 cm de largo y 21 cm de diámetro	Aportar la energía calórica suficiente para realizar los diferentes procesos.

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.4. Descripción general del equipo de Producción de Mosto

Macerador: Consta de un recipiente de acero inoxidable AISI 304 L, con una capacidad de 64.36 litros aproximadamente, donde para su calentamiento, se tiene un quemador industrial de hierro fundido y un termómetro análogo para la medición de temperaturas durante el proceso de maceración. Además, posee un falso fondo con un filtro de malla metálica.

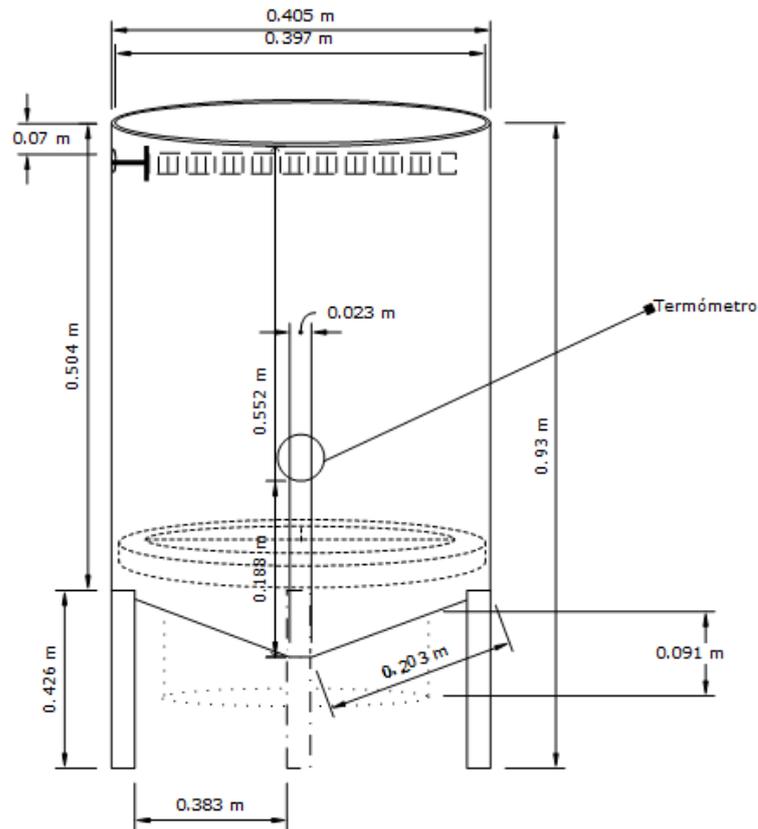


Figura 9-3. Esquema de Recipiente de Maceración
Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

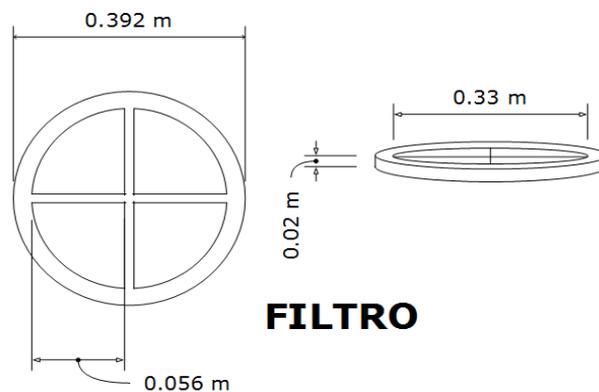


Figura 10-3. Esquema del filtro para el recipiente de Maceración

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Recipiente de cocción: Al igual que el macerador su material de construcción es acero inoxidable AISI 304 L, con una capacidad de 64.36 litros, con un quemador industrial de hierro fundido y un termómetro análogo.

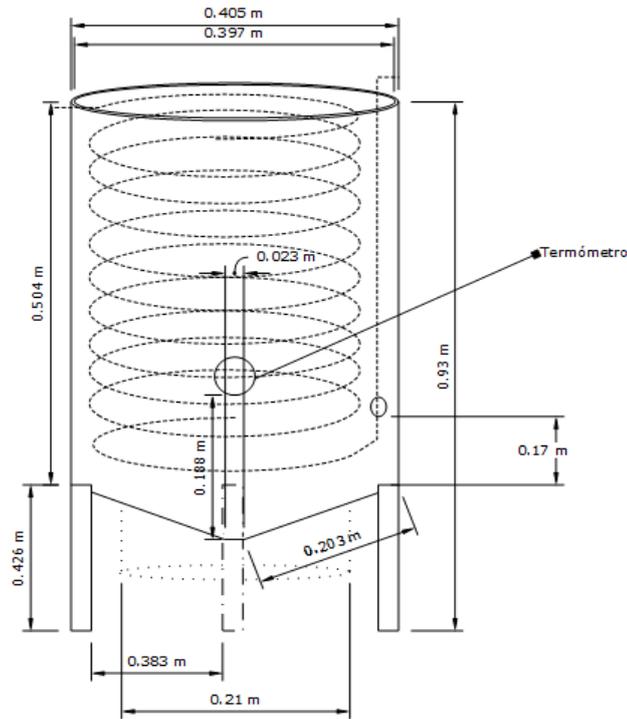


Figura 11-3. Esquema del recipiente de Cocción

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Sistema de Aspersión: Este sistema consta de un tubo de acero inoxidable el cual está conectado a una válvula de bola, que se encuentra en la parte superior del recipiente de maceración, este tubo posee unas aberturas que permitirán el paso del extracto líquido. Este sistema tiene como función, la recirculación del mosto y el posterior lavado del mismo, para la extracción total de azúcares fermentables y no fermentables de la infusión.

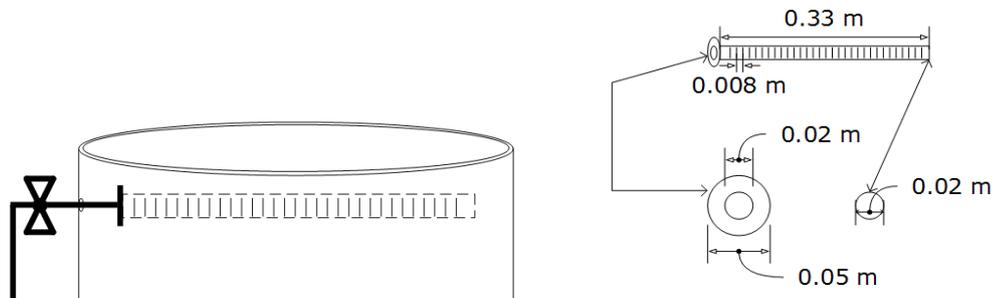
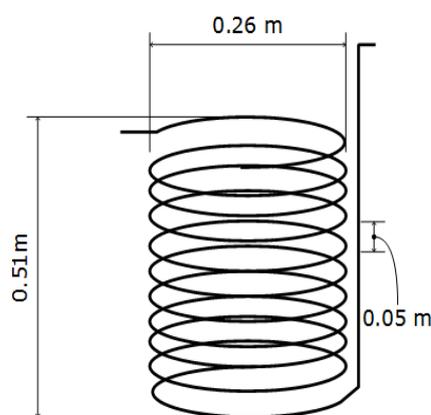


Figura 12-3. Esquema del aspersor para el recipiente de Maceración

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Sistema de tubería: Para el transporte del mosto se tiene un sistema de tuberías, las cuales están conectadas entre recipientes de maceración y cocción como también con el sistema de aspersión, esta tubería es de acero inoxidable conectada con abrazaderas (Tuberías desmontables) y válvulas de bola en cada salida requerida para el proceso de maceración y posee una Bomba marca Leo de 1/2Hp que nos permitirá el transporte de los fluidos.

Sistema de enfriamiento: Consta de un serpentín de acero inoxidable el cual se situará dentro del recipiente de cocción lo que permitirá el enfriamiento progresivo del mosto lupulado obtenido del proceso de cocción.



SERPENTÍN

- *11 Vueltas
- *Diámetro de 1/4" o 0.635 cm

Figura 13-3. Esquema del serpentín para el recipiente de Cocción
Realizado por: Chalco Sara Y Salazar Richard, 2021

Dimensionamiento, capacidad y especificaciones

3.4.5. Cálculos para el dimensionamiento del recipiente de maceración, cocción y filtración.

Para los diferentes cálculos de dimensión se utilizarán las siguientes fórmulas. (VaxaSoftware)

Cálculo de volumen del cono

$$V_1 = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

$$V_1 = \frac{\pi * (19.8500cm)^2 * 4.8000cm}{3}$$

$$V_1 = 1980.5731 \text{cm}^3 * \frac{1 \text{mL}}{1 \text{cm}^3} * \frac{1 \text{L}}{1000 \text{mL}}$$

$$V_1 = 1.9805 \text{L}$$

Donde.

V_1 : Volumen del Cono.

r : Radio del Recipiente.

h : Altura del recipiente.

π : Número Pi

Cálculo de volumen del cilindro

$$V_2 = \pi * r^2 * h$$

$$V_2 = \pi * (19.8500 \text{cm})^2 * 50.4000 \text{cm}$$

$$V_2 = 62388.0528 \text{cm}^3 * \frac{1 \text{mL}}{1 \text{cm}^3} * \frac{1 \text{L}}{1000 \text{mL}}$$

$$V_2 = 62.3880 \text{L}$$

Donde,

V_2 : Volumen del Cilindro.

r : Radio del Recipiente.

h : Altura del recipiente.

π : Número Pi

Cálculo de volumen total del recipiente

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 1.9805 \text{L} + 62.3880 \text{L}$$

$$V_T = 64.3686 \text{L}$$

Donde,

V_T : Volumen Total del Recipiente.

V_1 : Volumen del Cono.

V_2 : Volumen del Cilindro.

Cálculo del Área del Cilindro

$$A_{B1} = \pi * r^2$$

$$A_{B1} = \pi (19.8500 \text{cm})^2$$

$$A_{B1} = 1237.8582 \text{cm}^2 * \frac{1 \text{m}^2}{100^2 \text{cm}^2}$$

$$A_{B1} = 0.1238 \text{m}^2$$

$$A_{L1} = 2 * \pi * r * h$$

$$A_{L1} = 2 * \pi * 19.8500 \text{cm} * 50.4000 \text{cm}$$

$$A_{L1} = 6285.9410 \text{cm}^2 * \frac{1 \text{m}^2}{100^2 \text{cm}^2}$$

$$A_{L1} = 0.6286 \text{m}^2$$

$$A_1 = A_{B1} + A_{L1}$$

$$A_1 = 0.1238m^2 + 0.6286m^2$$

$$A_1 = 0.7524m^2$$

Donde,

r : Radio del Recipiente

π : Número Pi

h : Altura del recipiente.

A_{B1} : Área Base del Cilindro.

A_{L1} : Área Lateral del Cilindro.

A_1 : Área del Cilindro.

Cálculo del Área del Cono

$$A_{B2} = \pi * r^2$$

$$A_{B2} = \pi(19.8500cm)^2$$

$$A_{B2} = 1237.8582cm^2 * \frac{1m^2}{100^2m^2}$$

$$A_{B2} = 0.1238m^2$$

$$A_{L2} = \pi * r * g_L$$

$$A_{L2} = \pi * 19.8500cm * 20.3000cm$$

$$A_{L2} = 1265.9205m^2 * \frac{1m^2}{100^2m^2}$$

$$A_{L2} = 0.1266m^2$$

$$A_2 = A_{B2} + A_{L2}$$

$$A_2 = 0.1238m^2 + 0.1266m^2$$

$$A_2 = 0.2504m^2$$

Donde,

r : Radio del Recipiente.

π : Número Pi

A_{B2} : Área Base del Cono.

A_{L2} : Área Lateral del Cono.

g : Inclinación del Cono.

A_2 : Área del Cono.

Cálculo del Área total del Recipiente

$$A_T = A_1 + A_2$$

$$A_T = 0.7524m^2 + 0.2504m^2$$

$$A_T = 1.0028m^2$$

Donde,

A_1 : Área del Cilindro.

A_2 : Área del Cono.

A_T : Área total del Recipiente.

Cálculo del Área del Filtro

$$A_{BF} = \pi * r^2$$

$$A_{BF} = \pi(19.8000cm)^2$$

$$A_{BF} = 1231.6300cm^2 * \frac{1m^2}{100^2cm^2}$$

$$A_{BF} = 0.1232m^2$$

$$A_{LF} = 2 * \pi * r * h$$

$$A_{LF} = 2 * \pi * 19.8000cm * 2cm$$

$$A_{LF} = 248.8141cm^2 * \frac{1m^2}{100^2cm^2}$$

$$A_{LF} = 0.0249m^2$$

$$A_{TF} = A_{BF} + A_{LF}$$

$$A_{TF} = 0.1232m^2 + 0.0249m^2$$

$$A_{TF} = 0.1481m^2$$

Donde,

r : Radio del Recipiente.

h : Altura del recipiente.

π : Número Pi

A_{BF} : Área Base del Filtro

A_{LF} : Área Lateral del Filtro

A_{TF} : Área Total del Filtro

Cálculo del Volumen del Filtro

$$V_F = \pi * r^2 * h$$

$$V_F = \pi * (19.8000cm)^2 * 2cm$$

$$V_F = 2463.2600cm^3 * \frac{1mL}{1cm^3} * \frac{1L}{1000mL}$$

$$V_F = 2.4636L$$

Donde,

π : Número Pi

r : Radio del Recipiente.

h : Altura del recipiente.

V_F : Volumen del Filtro

3.4.6. Especificaciones de los equipos

Tabla 7-3. Dimensión de recipientes de macerado y cocción

	Recipiente de Maceración	Filtro	Recipiente de Cocción
Altura (m)	0.5520	0.0200	0.5520
Diámetro (m)	0.3970	0.3920	0.3970
Espesor (m)	0.0040	0.0020	0.0040
Volumen (L)	64.3686	2.4636	64.3686
Área(m ²)	1.0028	0.1481	1.0028

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Tabla 8-3. Dimensión de serpentín para enfriamiento

	Serpentín	Manguera
Diámetro (m)	0.0064	0.0127
Longitud (m)	8.6340	10

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.7. Cálculos de Diseño

3.4.7.1. Macerador

La capacidad del macerador es de 64.36 L equivalente a 64.36 Kg considerando una temperatura inicial de 20°C hasta una temperatura final de 67°C durante un tiempo de 90 minutos podremos obtener el calor necesario para trabajar, es así que aplica la siguiente fórmula obtenida de (Yunus, 2011)

$$q = m C_p \Delta T$$

$$q = m C_p (T_f - T_i)$$

Donde,

q: Cantidad de calor

m: masa total en el recipiente.

C_p: Capacidad calorífica del agua a temperatura ambiente.

ΔT = (T_f-T_i): Diferencial de temperatura

Es así como se considera el valor del calor específico del agua a 20°C según la tabla de vaxa software de propiedades del agua.

$$q = 64.36 \text{ Kg} \left(4.182 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (340 - 293) \text{K}$$

$$q = 12650.2154 \text{ KJ}$$

$$\dot{Q} = q/t$$

$$q = \frac{12650.2164 \text{ KJ}}{1.5 \text{ h}}$$

$$\dot{Q} = 8433.4770 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} * 0.2390 \frac{\text{Kcal}}{\text{KJ}}$$

$$\dot{Q} = 2015.6010 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Donde,

\dot{Q} : Potencia

q : Cantidad de calor

t : Tiempo

3.4.7.2. Recipiente de Cocción

La capacidad del macerador es de 64.36 L equivalente a 64.36 Kg considerando una temperatura inicial de 55°C hasta una temperatura final de 100°C durante un tiempo de 60 minutos podremos obtener el calor necesario para trabajar. (Yunus, 2011)

$$q = m Cp \Delta T$$

$$q = m Cp (Tf - Ti)$$

Donde,

q : Cantidad de calor

m : masa total en el recipiente.

Cp : Capacidad calorífica del agua a temperatura ambiente.

$\Delta T = (Tf - Ti)$: Diferencial de temperatura

Es así como se considera el valor del calor específico del agua a 55°C según la tabla de vaxa software de propiedades del agua.

$$q = 64.36 \text{ Kg} \left(4.183 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right) (373 - 328) \text{K}$$

$$q = 12114.8046 \text{ KJ}$$

$$\dot{Q} = q/t$$

$$q = \frac{12114.8046 \text{ KJ}}{1 \text{ h}}$$

$$\dot{Q} = 12114.8046 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} * 0.2390 \frac{\text{Kcal}}{\text{KJ}}$$

$$\dot{Q} = 2895.4383 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Donde,

\dot{Q} : Potencia

C_p : Capacidad calorífica del agua a temperatura ambiente.

t : Tiempo

Generalmente los quemadores industriales de acero fundido poseen una capacidad calorífica máxima de 5000 Kcal/h en gas natural y 4000 Kcal/h en gas envasado. Por lo que se implementa un quemador de este tipo, pues la cantidad de calor proporcionada por el mismo sería suficiente para el proceso de maceración. Se considera la misma elección de quemador para el recipiente donde se produce la cocción pues proporcionará de igual forma el calor necesario para ese proceso.

3.4.8. Cálculo del tiempo de enfriamiento del mosto

Tabla 9-3. Parámetros para enfriamiento del mosto con el serpentín

Temperatura de agua de entrada, t_1	5 °C
Temperatura de ingreso del mosto, T_1	100 °C
Temperatura de salida del mosto, T_2	23 °C
Flujo másico del agua, \dot{m}_{H_2O}	0.067 kg /s
Calor específico del mosto, C_{p_m}	4182 J / Kg K
Calor específico del acero inoxidable, $C_{p_{ac}}$	500 J / Kg K
Diámetro externo del Serpentín, D_s	0.26 m
Diámetro externo (tubería) del serpentín, D_o	0.0064 m
Diámetro interno (tubería) del serpentín, D_i	0.0062 m
Densidad del mosto, ρ_m	1.040 kg/L
Volumen del mosto, V_m	39.9840L
Masa del recipiente de acero inoxidable, $m_{recipiente}$	12.15Kg

Elaborado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Cálculo de la masa del mosto

La determinación de la masa del mosto se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Yunus, 2011)

$$m_{mosto} = \rho_m * V_m$$

$$m_{mosto} = 1.040 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 39.9840 \text{ L}$$

$$m_{mosto} = 41.5834 \text{ Kg}$$

Donde,

m_{mosto} : Masa del mosto

ρ_m : Densidad del mosto

V_m : Volumen del mosto

Cálculo de masa térmica

La determinación de masa térmica se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$W = (Cp_{recipiente} * m_{recipiente}) + (Cp_m * m_{mosto})$$

$$W = \left(500 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}} * 12.15 \text{ Kg} \right) + \left(4182 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}} * 41.5834 \text{ Kg} \right)$$

$$W = 179976.7788 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

Donde,

W : Masa térmica de todo el sistema

C_{pm} : Calor específico del mosto a 63°C

$m_{recipiente}$: Masa del recipiente de acero inoxidable

m_{mosto} : Masa del mosto

$Cp_{Recipiente}$: Calor específico del recipiente

Cálculo del coeficiente global de transferencia de Calor

La determinación del coeficiente global de transferencia de calor se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

- *Temperatura media del mosto*

La determinación de la temperatura media del mosto se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$T_m = \frac{(T_1 + T_2)}{2}$$

$$T_m = \frac{(100 + 23)^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_m = \frac{123\text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_m = 61.5\text{ }^\circ\text{C}$$

Donde,

U : Coeficiente global de transferencia de calor

h_o : Coeficiente de convección exterior

h_i : Coeficiente de convección interior

T_m : Temperatura media del mosto

T_1 : Temperatura de entrada del mosto en el recipiente

T_2 : Temperatura salida del mosto en el recipiente

Con esta temperatura y el Anexo de las propiedades físicas del agua saturada, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 10-3. Parámetros para el mosto a 63°C

Calor específico, Cp	0.9982 Kcal/KgK o 4.1765 KJ/KgK
Densidad del mosto, ρ_m	1.040 kg/L o 1040 kg/ m ³
Viscosidad Dinámica, μ	1.66 Kg/h m
Conductividad térmica, k	0.5643 kcal/h m K

Realizado por: Chalco Sara Y Salazar Richard, 2021

- *Flujo másico del mosto:*

La determinación del flujo másico del mosto se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Yunus, 2011)

$$\dot{m}_{mosto} = \frac{m_{mosto}}{t}$$

$$\dot{m}_{mosto} = \frac{41.5834\text{ kg}}{3600\text{ s}}$$

$$\dot{m}_{mosto} = 0.01160\text{ kg/s}$$

Donde,

\dot{m}_{mosto} : Flujo másico del mosto

m_{mosto} : Masa del mosto

t : Tiempo

- *Velocidad de flujo del mosto*

La determinación de la velocidad de flujo se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona, 2019)

$$v = \frac{Q}{A_f}$$

$$Q = \frac{\dot{m}_{mosto}}{\rho_m}$$

$$Q = \frac{0.01160 \frac{kg}{s}}{1.040 \frac{kg}{L}}$$

$$Q = 0.0111 \frac{L}{s} * \frac{1000 ml}{1L} * \frac{1 cm^3}{1 ml} * \frac{1 m^3}{(100^3) cm^3}$$

$$Q = 1.11 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

Donde, Q : caudal del mosto

$$A_f = \frac{\pi}{4} * D_i^2$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} * (0.0062 m)^2$$

$$A_f = 3.02 \times 10^{-5} m^2$$

Donde, A_f : área de flujo

$$v = \frac{1.11 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{3.02 \times 10^{-5} m^2}$$

$$v = 0.3675 \frac{m}{s} * \frac{3600s}{1h}$$

$$v = 1323.1788 \frac{m}{h}$$

Donde,

v : Velocidad de flujo del mosto.

D_i : Diámetro interno de la tubería del serpentín.

ρ_m : Densidad del mosto.

\dot{m}_{mosto} : Flujo másico del mosto.

Q : Caudal del Mosto.

A_f : Área de flujo.

π : Número Pi

Cálculo de números adimensionales

- *Determinación del número de Reynolds:*

La determinación del número de Reynolds (Re) se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$Re = \frac{D_i * v * \rho_m}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.0062 \text{ m} * 1323.1788 \frac{\text{m}}{\text{h}} * 1040 \text{ kg/m}^3}{1.66 \text{ kg/mh}}$$

$$Re = 5139.6728$$

Donde,

Re: Número adimensional de Reynolds

D_i : Diámetro interno de la tubería del serpentín

v : Velocidad de flujo del mosto

ρ_m : Densidad del mosto

μ : Viscosidad dinámica del mosto a 63°C

Un número de Reynolds mayor a 4000 indica que el flujo que pasa a través del serpentín es de régimen turbulento.

- *Determinación del número de Prandtl:*

La determinación del número de Prandtl (Pr) se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{0.9982 \text{ Kcal/Kg K} * 1.66 \text{ kg/mh}}{0.5643 \text{ kcal/ h m K}}$$

$$Pr = 2.9364$$

Donde,

Pr: Número adimensional de Prandtl

k: Conductividad térmica del mosto a 63°C

μ : Viscosidad dinámica del mosto a 63°C

C_{pm} : calor específico del mosto a 63°C

La obtención de un valor mayor a 1, indica que la difusividad térmica prevalece y domina el comportamiento

- *Cálculo del Coeficiente de Convección Interior (Correlación de Sieder-Tate):*

La determinación del coeficiente de convección interior (h_i) se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$h_i = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \frac{k}{D_i}$$

$$h_i = 0.023(5139.6728)^{0.8}(2.9364)^{1/3} \frac{0.5643 \text{ kcal/h m K}}{0.0062 \text{ m}}$$

$$h_i = 0.023 (930.5686)(1.4320) \left(91.0161 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{h K}}\right)$$

$$h_i = 2789.5713 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{h K}} * \frac{1.163 \text{ W}}{1 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$$h_i = 3244.2715 \text{ W/K m}^2$$

Donde,

h_i : Coeficiente de convección interior

Re : Número adimensional de Reynolds

Pr : Número adimensional de Prandlt

k : Conductividad térmica del mosto a 63°C

D_i : Diámetro interno de la tubería del serpentín

- *Cálculo de Coeficiente de Convección Exterior(h_o).*

Para la obtención del h_o (coeficiente de convección externo) se utiliza de acuerdo con la configuración del serpentín y a la temperatura dada, por lo tanto, al tener forma helicoidal nuestro serpentín, el valor a utilizar es de 909 W/m² K a una temperatura de 40°C (Aproximación a 63°C). (Joye, y otros, 2000)

Design—top coil mounted at liquid surface, except where noted		h_o @ 25°C, W/m ² K	h_o @ 40°C, W/m ² K
Best	Asymmetrical horizontal coil, 1D spacing	761	1,000
	Horizontal coil, 2D spacing	727	994
Good	Commercial helical coil	630	909
	Conical coil, apex down	693	892
	Horizontal coil, 1D spacing	676	880
Mediocre	Commercial helical coil, resting on bottom	505	812
	Conical coil, apex up	545	812
	Vertical coil, top at liquid surface	505	750
Worst	Horizontal coil, no spacing	312	528
	Horizontal coil, no spacing, resting on bottom	—	227

Figura 14-3. Coeficientes de convección exterior para ciertas configuraciones de serpentín

Fuente: (Joye, y otros, 2000)

- *Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor*

La determinación del coeficiente global de transferencia de calor se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{909 \text{ W/K m}^2} + \frac{1}{3244.2715 \text{ W/K m}^2}}$$

$$U = 710.0530 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Donde,

U : Coeficiente global de transferencia de calor

h_o : Coeficiente de convección exterior

h_i : Coeficiente de convección interior

Balance de Energía del Enfriador

Al tener un sistema en estado no estacionario (varía con el tiempo), el balance será el siguiente:

$$\frac{dq}{d\theta} = \dot{m}_{H2O} C_{p_{H2O}} (t_2 - t_1) = UA \Delta T_{ml}$$

Donde,

dq : Diferencial de Calor.

$d\theta$: Diferencial de tiempo.

\dot{m}_{H2O} : Flujo másico de agua refrigerante.

$C_{p_{H2O}}$: Calor específico del agua refrigerante.

t_2 : Temperatura de salida del agua refrigerante.

t_1 : Temperatura de entrada del agua refrigerante.

U : Coeficiente global de transferencia de calor.

A : Área del serpentín.

ΔT_{ml} : Diferencia de Temperatura Media Logarítmica

Lo cual indica que la variación del calor perdido o cedido por el mosto en función del tiempo es igual al calor ganado o absorbido que circula a través del serpentín. (Kayode Coker, 2015)

Cálculo de la temperatura media logarítmica

- *Calor cedido del mosto*

La determinación del calor cedido del mosto se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Yunus, 2011)

$$\begin{aligned} q_{\text{mosto}} &= \dot{m}_{\text{mosto}} * C_{p_m} * \Delta T \\ q_{\text{mosto}} &= \dot{m}_{\text{mosto}} * C_{p_m} * (T_2 - T_1) \\ q_{\text{mosto}} &= 0.01160 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 4182 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}} (373 - 296)K \\ q_{\text{mosto}} &= 3735.3624 \frac{\text{J}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Donde,

\dot{m}_{mosto} : Flujo másico del mosto

q_{mosto} : Calor perdido por el mosto

C_{p_m} : Calor específico del mosto a 63°C

T_1 : Temperatura de entrada del mosto en el recipiente

T_2 : Temperatura salida del mosto en el recipiente

- *Temperatura de salida del agua*

La determinación de la temperatura de salida del agua se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Yunus, 2011)

$$\begin{aligned}q_{\text{mosto}} &= q_{H2O} \\q_{H2O} &= \dot{m}_{H2O} * C_{pH2O} * \Delta T \\q_{H2O} &= \dot{m}_{H2O} * C_{pH2O} * (t_2 - t_1) \\q_{H2O} &= 0.067 \frac{kg}{s} * 4182 \frac{J}{kg K} * (t_2 - 278) K \\q_{H2O} &= \left(280.194 \frac{J}{K s} * t_2 \right) - 77893.932 \frac{J}{s} \\3735.3624 \frac{J}{s} &= \left(280.194 \frac{J}{K s} * t_2 \right) - 77893.932 \frac{J}{s} \\3735.3624 \frac{J}{s} + 77893.932 \frac{J}{s} &= \left(280.194 \frac{J}{K s} * t_2 \right) \\81629.2944 \frac{J}{s} &= \left(280.194 \frac{J}{K s} * t_2 \right) \\ \frac{81629.2944 \frac{J}{s}}{280.194 \frac{J}{K s}} &= t_2 \\t_2 &= 291.33 K - 273 K \\t_2 &= 18.33 ^\circ C\end{aligned}$$

Donde,

t_2 : Temperatura de salida del agua refrigerante.

t_1 : Temperatura de entrada del agua refrigerante.

q_{H2O} : Calor Absorbido por el agua.

\dot{m}_{H2O} : Flujo másico de agua refrigerante.

C_{pH2O} : Calor específico del agua refrigerante.

La temperatura de salida del agua es de 18.33°C, lo cual indica que la temperatura que ha ganado el agua fue de 13.33°C.

- *Diferencia de temperatura media logarítmica*

La determinación de la diferencia de temperatura media logarítmica se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{1m} - \Delta T_{2m}}{\ln \frac{\Delta T_{1m}}{\Delta T_{2m}}}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{1m} &= T_1 - t_2 \\ \Delta T_{1m} &= (100 - 18.33)^\circ C \\ \Delta T_{1m} &= 81.67^\circ C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{2m} &= T_2 - t_1 \\ \Delta T_{2m} &= (23 - 5)^\circ C \\ \Delta T_{2m} &= 18^\circ C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{ml} &= \frac{(81.67 - 18)^\circ C}{\ln \frac{81.67}{18}} \\ \Delta T_{ml} &= \frac{63.67^\circ C}{1.51} \\ \Delta T_{ml} &= \mathbf{42.10^\circ C}\end{aligned}$$

Donde,

ΔT_{ml} : Diferencia de Temperatura Media Logarítmica

ΔT_{1m} : Variación de temperatura 1

ΔT_{2m} : Variación de temperatura 2

T_1 : Temperatura de entrada del mosto en el recipiente

T_2 : Temperatura salida del mosto en el recipiente

t_1 : Temperatura de entrada del agua refrigerante

t_2 : Temperatura de salida del agua refrigerante

Cálculo del área del serpentín

La determinación del área del serpentín se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona, 2019)

$$\begin{aligned}A &= \frac{L * D_i * \pi}{4} \\ A &= \frac{8.65 m * 0.0064 m * \pi}{4} \\ A &= \frac{0.1739 m^2}{4}\end{aligned}$$

$$A = \mathbf{0.0434 m^2}$$

Donde,

A : Área del serpentín

L : Longitud del serpentín

D_i : Diámetro interno del serpentín.

π : Número Pi

Para determinar el largo y la altura del serpentín hacemos uso del área obtenida anteriormente.

Tabla 11-3. Parámetros para cálculos del serpentín

Temperatura de agua de entrada, t_1	5 °C
Temperatura de ingreso del mosto, T_1	100 °C
Temperatura de salida del mosto, T_2	23 °C
Flujo másico del agua, \dot{m}_{H_2O}	0.067 kg /s
Diámetro externo del Serpentín, D_s	0.26 m
Diámetro externo (tubería) del serpentín, D_o	0.0064 m
Diámetro interno (tubería) del serpentín, D_i	0.0062 m
Densidad del mosto, ρ_m	1.040 kg/L
Longitud del serpentín, L (teórico asumido)	8.65 m
Coficiente global de transferencia de calor, U	732.4715 W/m ² K
Área del serpentín, A	0.0434 m ²
Masa térmica, W	213100.7280J/Kg

Elaborado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

Las ecuaciones que describen el rendimiento térmico del sistema son iguales para diferentes casos, esto implica el uso de funciones intermedias, que vienen dadas por letras tales como: B, E y D. Estas son funciones de los diferentes sistemas y son constantes para cualquiera de estos.

Case	Description	B	D	E
1	Service fluid in jacket or coil. Isothermal service fluid.	$B_1 = \frac{1}{u.a}$		
2	Service fluid in jacket or coil. Single phase service fluid.	$B_2 = \frac{E_2}{m.c.(E_2 - 1)}$		$E_2 = \exp\left(\frac{u.a}{m.c}\right)$
3	External heat exchanger. Isothermal service fluid.	$B_3 = \frac{E_3}{M.C.(E_3 - 1)}$		$E_3 = \exp\left(\frac{U.A}{M.C}\right)$
4	External heat exchanger. Single phase service fluid.	$B_4 = \frac{r.E_4 - 1}{m.c.(E_4 - 1)}$		$E_4 = \exp\left(\frac{U.A.(r-1)}{m.c}\right)$
5	External heat exchanger. Single phase service fluid. Special case for equal flowing heat capacities ($r = 1$).	$B_5 = \frac{M.C + U.A}{M.C.U.A}$		
6	Indirect system. Isothermal service fluid.	$B_6 = \frac{B_3.M.C.(1 - E_6) - 1}{M.C.(1 - E_6)}$	$D_6 = B_3$	$E_6 = \exp\left(\frac{u.a}{M.C}\right)$
7	Indirect system. Single phase service fluid.	$B_7 = \frac{B_4.M.C.(1 - E_6) - 1}{M.C.(1 - E_6)}$	$D_7 = B_4$	
8	Indirect system. Single phase service fluid. Special case for equal flowing heat capacities ($r = 1$)	$B_8 = \frac{B_5.M.C.(1 - E_6) - 1}{M.C.(1 - E_6)}$	$D_8 = B_5$	

Figura 15-3. Definición de funciones

Fuente: (Gerard)

Para este caso en el cual el fluido de servicio o refrigerante se encuentra en una sola fase, escogeremos el caso 2.

Cálculo de E

La determinación del valor de la función intermedia 1 (E) se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$E = e^{\left(\frac{U \cdot A}{\dot{m}_{H2O} \cdot C_{p_{H2O}}}\right)}$$

$$E = e^{\left(\frac{710.0530 \text{ W/K m}^2 \cdot 0.0434 \text{ m}^2}{0.067 \text{ kg/s} \cdot 4182 \text{ J/kg K}}\right)}$$

$$E = 1.1163$$

Donde,

E: Función intermedia 1.

e: Número de Euler.

\dot{m}_{H2O} : Flujo másico de agua refrigerante.

$C_{p_{H2O}}$: Calor específico del agua refrigerante.

A: Área del serpentín.

U: Coeficiente global de transferencia de calor.

Cálculo del valor de B

La determinación del valor de la función intermedia 2 (B) se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$B = \frac{E}{\dot{m}_{H2O} \cdot C_{p_{H2O}}(E - 1)}$$

$$B = \frac{1.1163}{0.067 \text{ kg/s} \cdot 4182 \text{ J/kg K} (1.1163 - 1)}$$

$$B = 0.03427 \text{ K/W}$$

Donde,

B: Función intermedia 2

E: Función intermedia 1

\dot{m}_{H2O} : Flujo másico de agua refrigerante.

$C_{p_{H2O}}$: Calor específico del agua refrigerante.

Cálculo del tiempo empleado para enfriar el mosto.

La determinación del tiempo empleado para enfriar el mosto se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Kayode Coker, 2015)

$$\theta = \frac{W}{\dot{m}_{H2O} * C_{p_{H2O}}} \left(\frac{E}{E-1} \right) \ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} \right)$$

$$\theta = \frac{(C_{p_{recipiente}} * m_{recipiente}) + (C_{p_m} * m_{mosto})}{\dot{m}_{H2O} * C_{p_{H2O}}} \left(\frac{E}{E-1} \right) \ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} \right)$$

$$\theta = \frac{213100.7280 \text{ J/kg}}{0.067 \text{ kg/s} * 4182 \text{ J/kg K}} \left(\frac{1.1163}{1.1163 - 1} \right) \ln \left(\frac{100 - 5}{23 - 5} \right)$$

$$\theta = 12143.7120 \text{ s}$$

$$\theta = 3.7325 \text{ h}$$

Donde,

θ : Tiempo empleado para enfriar el serpentín

W : Masa térmica de todo el sistema

m_{mosto} : Masa del mosto

C_{p_m} : Calor específico del mosto a 63°C

$m_{recipiente}$: Masa del recipiente de acero inoxidable

$C_{p_{Recipiente}}$: Calor específico del recipiente

\dot{m}_{H2O} : Flujo másico de agua refrigerante

$C_{p_{H2O}}$: Calor específico del agua refrigerante

E : Función intermedia 1.

T_1 : Temperatura de entrada del mosto en el recipiente

T_2 : Temperatura salida del mosto en el recipiente

t_1 : Temperatura de entrada del agua refrigerante

t_2 : Temperatura de salida del agua refrigerante

- *Calculo longitud del serpentín:*

La determinación de la longitud del serpentín se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona, 2019)

$$L = \frac{4A}{\pi D_o}$$

$$L = \frac{4 * 0.0434m^2}{\pi * 0.0064 m}$$

$$L = 8.6340 m$$

Donde:

L: Longitud del serpentín.

D_o: Diámetro externo de la tubería del serpentín

A: Área del serpentín

π : Número Pi

- *Cálculo del número de vueltas (Teniendo en cuenta un paso(p) de 0.05m)*

La determinación de la altura del serpentín se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona, 2019)

$$N = \frac{L}{\sqrt{(\pi D_s)^2 + p^2}}$$

$$N = \frac{8.6340 m}{\sqrt{(\pi * 0.26m)^2 + (0.05 m)^2}}$$

$$N = 10.55 vueltas$$

$$N = 11 vueltas$$

Donde,

L: Longitud del serpentín.

N: Número de vueltas del serpentín

p: Paso

D_s: Diámetro externo del serpentín

- *Cálculo de la altura del serpentín*

La determinación de la altura del serpentín se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona, 2019)

$$H = Np + D_o$$

$$H = 11 * 0.05 \text{ m} + 0.0064\text{m}$$

$$H = 0.5564 \text{ m}$$

Donde,

D_o: Diámetro externo de la tubería del serpentín.

H: Altura del serpentín.

N: Número de vueltas del serpentín.

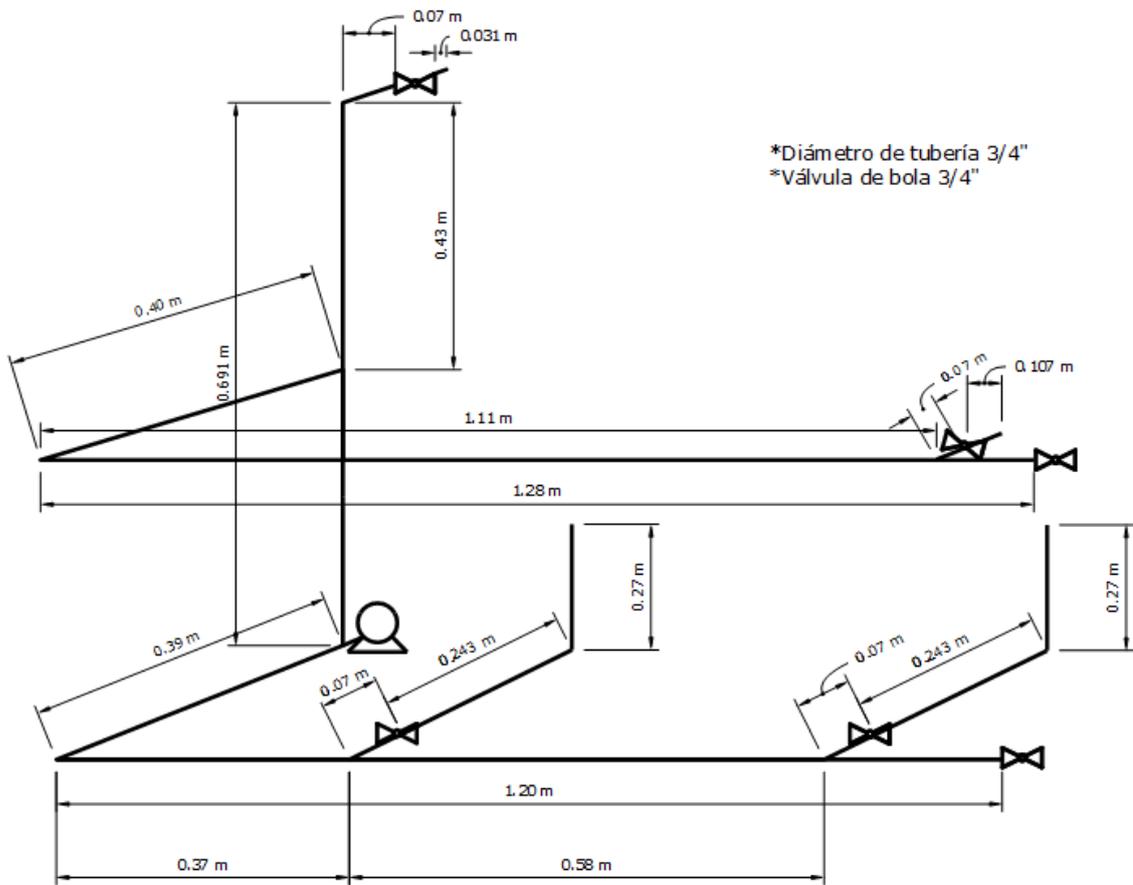
p: Paso.

Tabla 12-3. Datos obtenidos para el dimensionamiento del serpentín.

A (m²)	E	B	Tiempo (h)	Longitud (m)	Número de vueltas	Altura del serpentín (m)
0.0434	1.1163	0.0342	3.7325	8.6340	11	0.5564

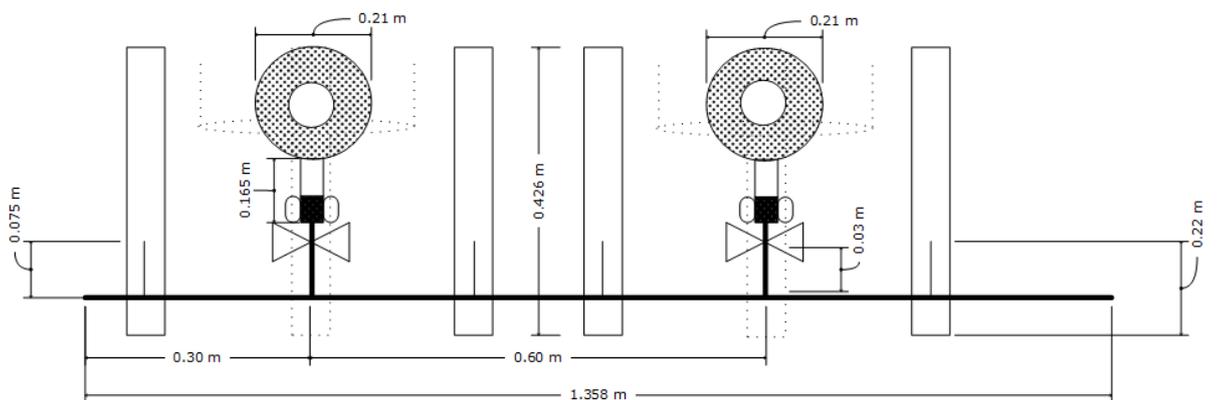
Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.9. Esquema de Tuberías y Válvulas del Equipo



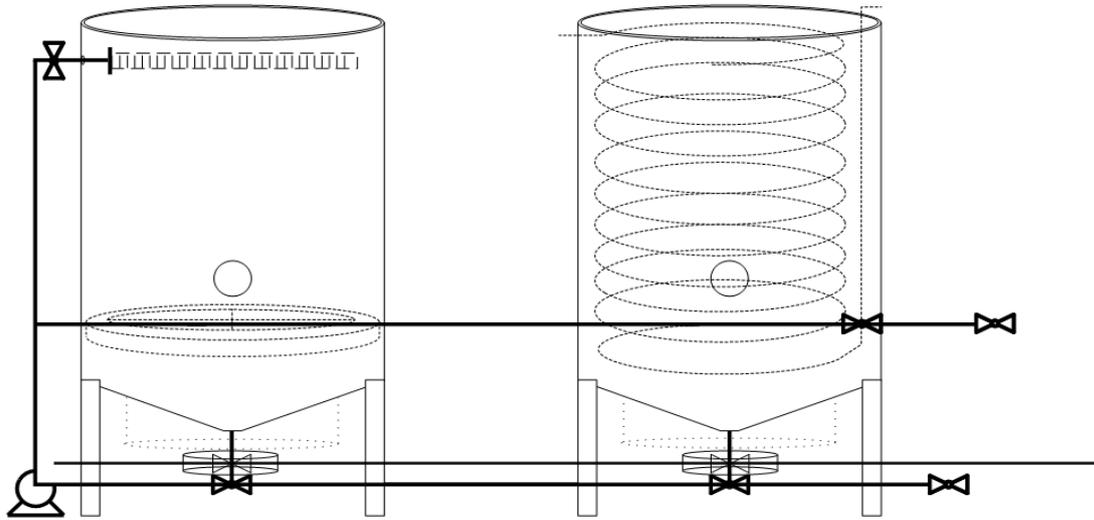
Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.10. Esquema del sistema de calentamiento



Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.11. Esquema general del equipo de maceración



Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.12. Metodología del proceso de maceración

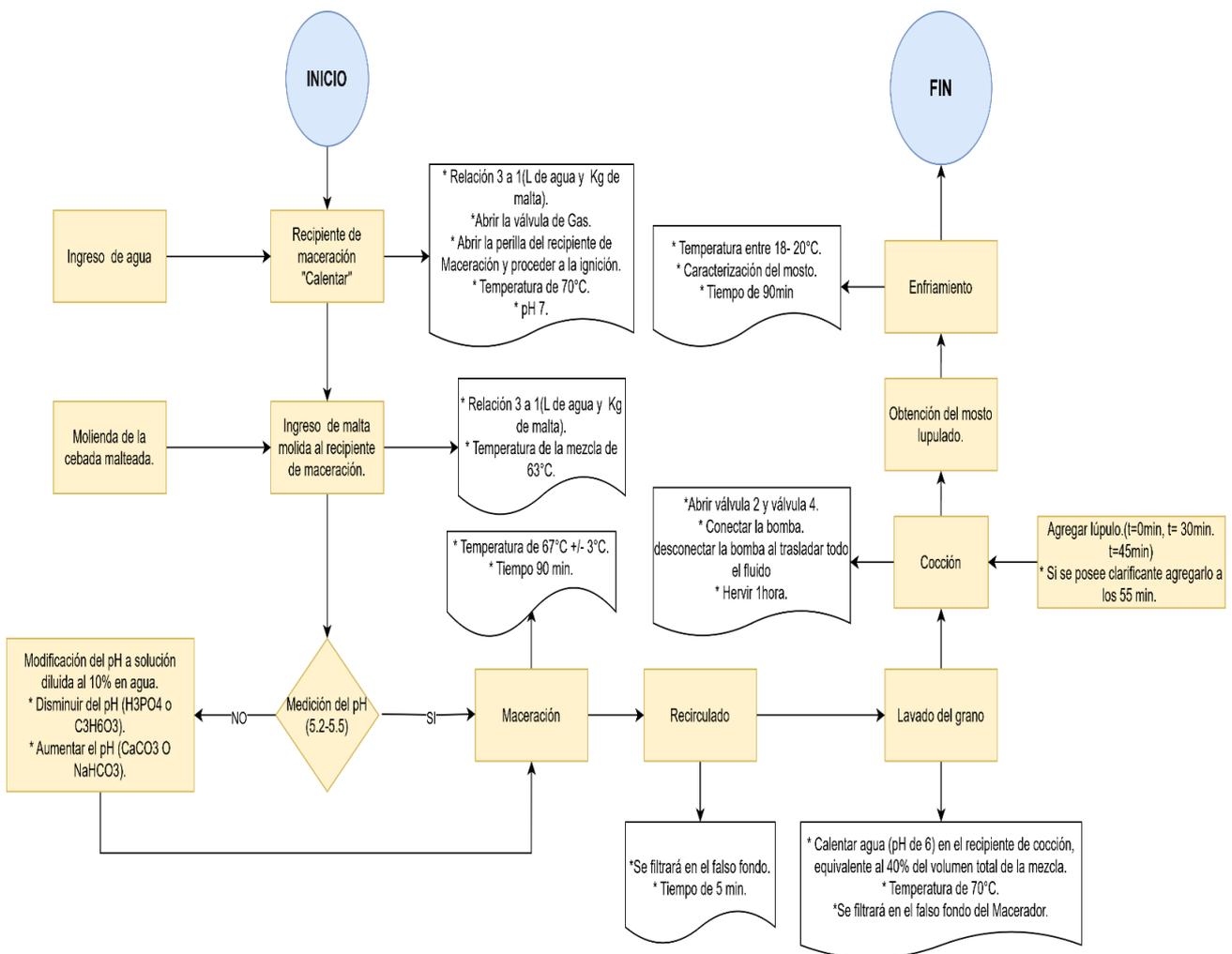
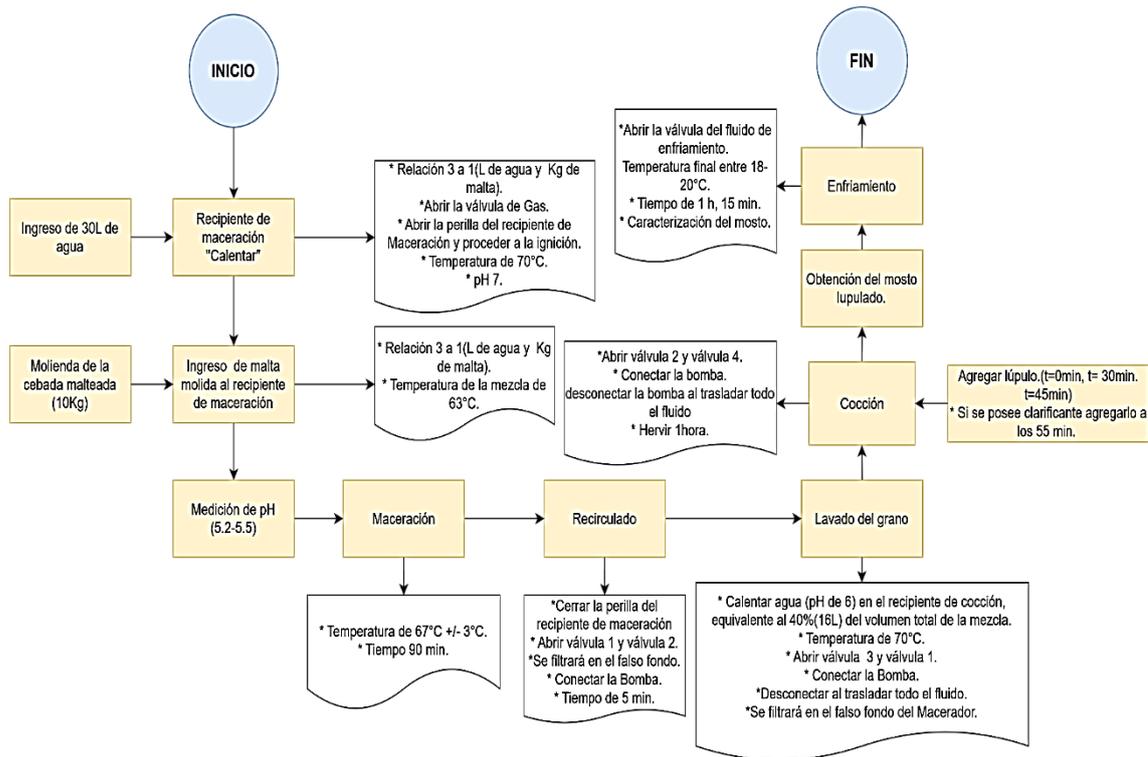


Figura 16-3. Diagrama de proceso de Maceración y Cocción

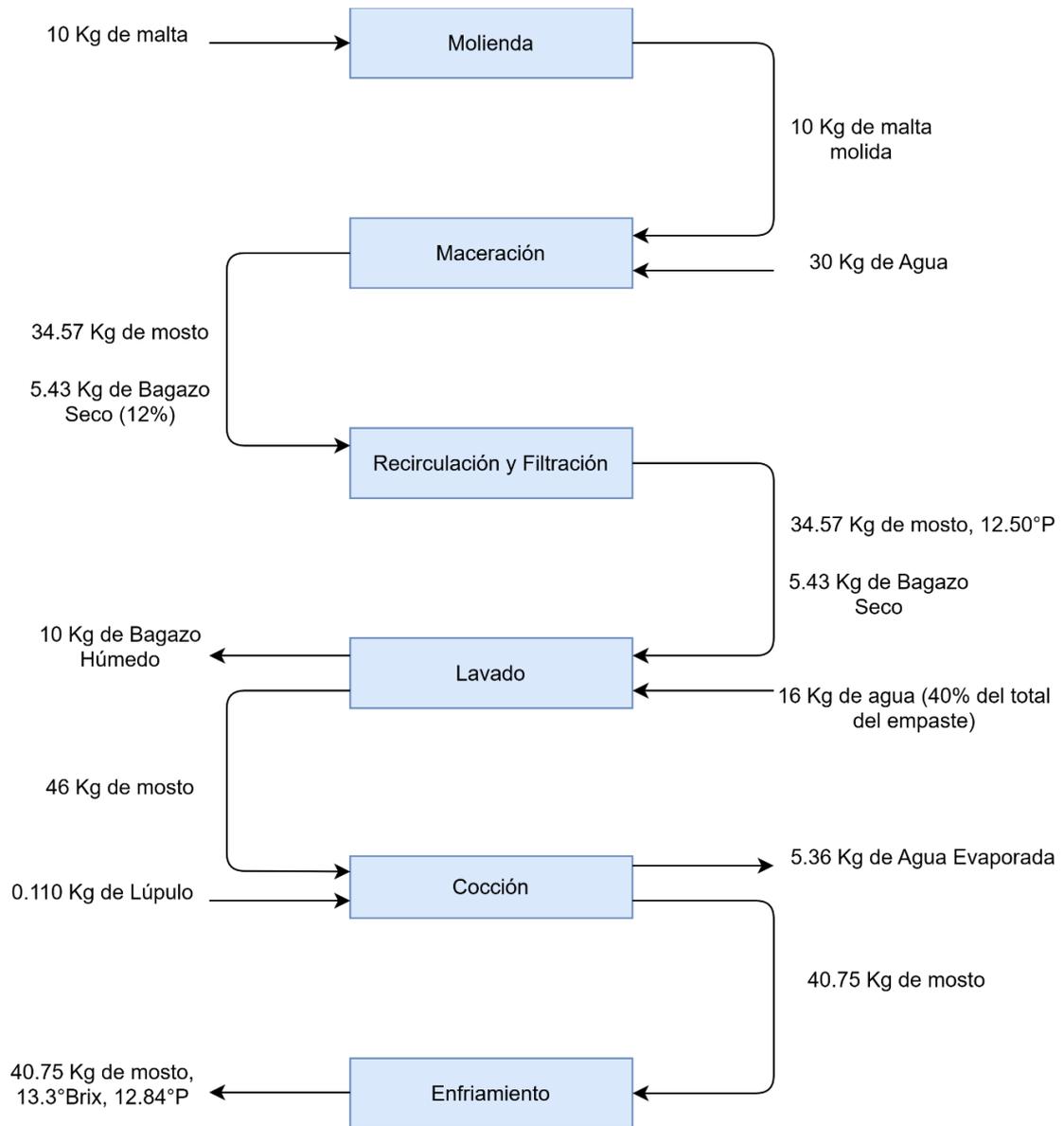
Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.13. Proceso de obtención del mosto



Elaborado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

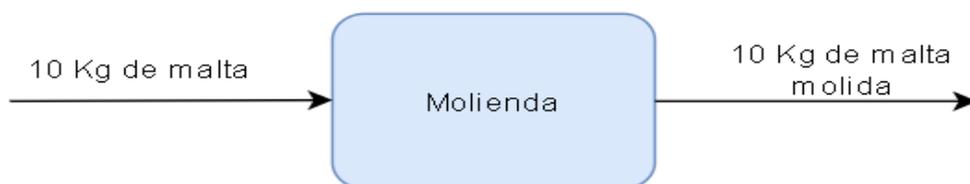
3.4.14. Balance de masa global Experimentación



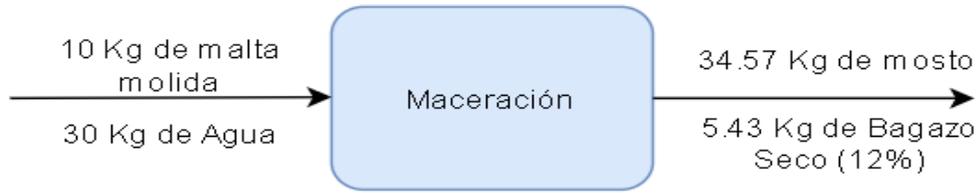
Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.4.15. Blance de masa por etapas

Molienda



Maceración



- ***Determinación de grados plato antes de la cocción***

La determinación de los grados platos antes de la cocción se obtuvo mediante la siguiente fórmula.

(Merelo, y otros, 2013)

$$\rho \text{ Antes de la cocción: } 1.050 \frac{g}{ml}$$

$$^{\circ}P = \frac{(\rho_{AC} - 1) * 1000}{4}$$

$$^{\circ}P = \frac{(1.050 - 1) * 1000}{4}$$

$$^{\circ}P = 12.5$$

Donde,

ρ_{AC} : Densidad antes de la cocción.

$^{\circ}P$: Grados plato.

- ***Determinación de extracto del mosto***

La determinación de la masa del extracto del mosto se obtuvo mediante la siguiente fórmula.

(Merelo, y otros, 2013)

$$ex = \rho_{AC} * ^{\circ}P * 10$$

$$ex = 1.050 * 12.5 * 10$$

$$ex = 131.25 \frac{g}{L}$$

Donde,

ex : Extracto del mosto.

ρ_{AC} : Densidad antes de la cocción.

$^{\circ}P$: Grados plato.

- ***Determinación de extracto total***

La determinación de la masa del extracto total se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Merelo, y otros, 2013)

$$exT = \frac{ex * V. mosto}{1000}$$

$$exT = \frac{131.25 \frac{g}{l} * 34.8L}{1000}$$

$$exT = 4.57 kg$$

Donde,

exT : Masa de Extracto total.

V. mosto : Volumen del mosto de Maceración.

ex: Extracto del mosto.

- *Determinación de la masa de bagazo seco*

La determinación de la masa de bagazo seco se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Merelo, y otros, 2013)

$$Bs = m_{malta} - exT$$

$$Bs = 10 Kg - 4.57 Kg$$

$$Bs = 5.43 Kg \text{ de bagazo seco}$$

Donde,

Bs: Bagazo Seco.

m_{malta} : Masa de la malta

exT : Masa de Extracto total.

- *Determinación de Kg de mosto*

La determinación de la masa del mosto antes del lavado se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Merelo, y otros, 2013)

$$m_{mosto \text{ antes del lavado}} = m_{malta} + m_{agua} - Bs$$

$$m_{mosto \text{ antes del lavado}} = 10kg + 30 kg - 5.43 kg$$

$$m_{mosto \text{ antes del lavado}} = 34.57 kg$$

Donde,

m_{mosto antes del lavado} : Masa del mosto antes del lavado.

Bs: Bagazo Seco.

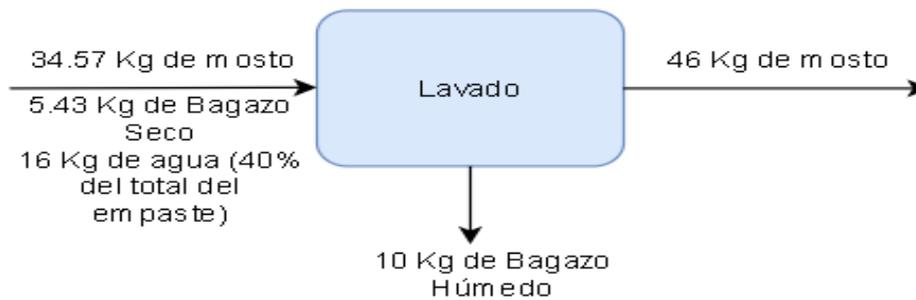
m_{malta} : Masa de la malta.

m_{agua} : Masa del agua de ingreso.

Recirculación y Filtrado



Lavado



- *Determinación de kg de mosto después del lavado*

La determinación de la masa del mosto después del lavado se obtuvo mediante la siguiente fórmula. (Merelo, y otros, 2013)

$$m_{\text{mosto.L}} = m_{\text{mosto antes del lavado}} + Bs + m_{H2O \text{ lavado}} - B.Humedo$$

$$m_{\text{mosto}} = 34.57 \text{ Kg} + 5.43 \text{ Kg} + 16 \text{ Kg} - 10 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{mosto}} = 46 \text{ Kg}$$

Donde,

$m_{\text{mosto.L}}$: Masa de mosto después del lavado.

$m_{\text{mosto antes del lavado}}$: Masa del mosto antes del lavado.

Bs : Bagazo Seco.

$m_{H2O \text{ lavado}}$: Masa de agua de lavado.

$B.Humedo$: Bagazo Húmedo.

Cocción



- *Determinación de agua evaporada*

$$\lambda = 2257 \frac{KJ}{kg}, \text{ Calor latente del agua}$$

$$Q = 12114.80 \frac{KJ}{h}, \text{ Calor del quemador industrial}$$

La determinación de agua evaporada por el recipiente de cocción se realizó mediante la siguiente fórmula. (Yunus, 2011)

$$m_{H2O \text{ evaporada}} = \frac{Q_I}{\lambda}$$

$$m_{H2O \text{ evaporada}} = \frac{12114.80 \frac{KJ}{h}}{2257 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$m_{H2O \text{ evaporada}} = 5.36 \frac{kg}{h} * 1h$$

$$m_{H2O \text{ evaporada}} = 5.36 \text{ Kg de H}_2\text{O evaporada}$$

Donde,

λ : Calor Latente del agua.

Q_I : Calor del quemador Industrial

$m_{H2O \text{ evaporada}}$: Masa de agua evaporada.

Enfriamiento



- *Eficiencia del Proceso*

La determinación de la eficiencia del proceso de maceración se realizó mediante la siguiente fórmula. (Tres Jotas Beer Club, 2020)

$$\eta = \frac{(G.O - 1) * 0.25 * V_{MOSTO.F} * 1000}{m_{malta} * R_{MALTA}}$$

$$\eta = \frac{(1.056g/mL - 1) * 0.25 * 40.75L * 1000}{10000g * 81\%}$$

$$\eta = \frac{(0.056g/mL) * 0.25 * 40.75L * 1000}{10000g * 81\%}$$

$$\eta = \frac{(56g/L) * 0.25 * 40.75L * 1000}{10000g * 81\%}$$

$$\eta = \frac{570500}{810000}$$

$$\eta = 0.7043$$

El rendimiento de la malta depende de la malta seleccionada. Anexo B

Donde,

η : Eficiencia del proceso

$G.O$: Gravedad específica después del proceso

V_{FMOSTO} : Volumen Final del mosto

m_{malta} : Masa de la Malta

R_{MALTA} : Rendimiento de la Malta Seleccionada

3.5. Análisis de costos

Tabla 13-3. Costos de Inversión del Proyecto

ACTIVIDAD	MONTO (\$)	FUENTE DE FINANCIAMIENTO INTERNA
MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO		
Recipiente para maceración	300.00	X
Recipiente para cocción	300.00	
Bomba Leo ½ hP	180.00	
Serpentín	120.00	
Quemadores industriales	20.00	
Termómetros	50.00	
Válvulas de ¾"	50.00	
Falso fondo tipo malla	120.00	
Codos sanitarios de 1"	24.00	
Tubo de 1"	18.00	
Neplos de ¾	14.00	
Tubería para gas	5.00	
Válvula y manguera de gas	12.00	
Mangueras	10.00	
MATERIA PRIMA		
Cebada	20.00	X
Lúpulo	10.00	

Agua	10.00	
Levadura	10.00	
ANÁLISIS DE LABORATORIO		
Análisis Microbiológicos y Organolépticos	30.00	X
LOGÍSTICA		
Transporte	50.00	X
TOTAL	1353.00	

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

3.6. Cronograma de Ejecución del proyecto

ACTIVIDAD	TIEMPO																							
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica																								
Elaboración anteproyecto																								
Presentación y aprobación del Anteproyecto																								
Determinar las variables de diseño del equipo de maceración para obtener cerveza artesanal.																								
Simulación de obtención del mosto como resultado en el proceso de maceración																								
Analizar las propiedades físico - químicas y organolépticas del mosto.																								
Análisis de información																								
Realizar los cálculos de ingeniería necesarios para el diseño del equipo de maceración.																								
Construir y ensamblar el equipo de maceración, por medio de la obtención del mosto para producir cerveza artesanal.																								

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS

4.1. Datos obtenidos en el proceso de maceración

Tabla 1-4. Datos de Maceración

Experimentación	Tiempo, t (min)	Temperatura, T (°C)	Densidad, ρ ($\frac{g}{ml}$)	Grados Plato. °P
1	90	68 ± 2	1.050	12.50

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.2. Rendimiento obtenido al final de la maceración

Para saber el porcentaje de rendimiento se utilizará la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{exT}{Kg \text{ de malta utilizada}} * 100$$

Es así como obtenemos:

- Rendimiento de la Maceración

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{exT}{Kg \text{ de malta utilizada}} * 100$$

$$\% R = \frac{4.57 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} * 100$$

$$\%R = 45.7 \%$$

Donde,

% Rendimiento: Porcentaje de rendimiento de la maceración.

exT : Masa de Extracto total.

Tabla 2-4. Resultados de Rendimiento de cada Experimentación

	ExT (Kg)	Kg de malta ocupada	%R
Experimentación	4.57	10	45.7

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.3. IBU's después de la etapa de Cocción

Para la determinación de los *IBU's* en cada experimentación, se aplica el método de Rager donde se toma en cuenta un porcentaje de utilización con respecto al tiempo en el que se adicionó cada porcentaje de lúpulo además de un factor de corrección el cual se aplica para densidades de mosto mayor a 1.050, de lo contrario al tener densidades menores o iguales a 1.050 este factor se toma como 1. (Vogrig, 2004)

Factor de corrección

$$Fc = 1 + \left[\frac{\left(\frac{DO}{1000} \right) - 1.05}{0.2} \right]$$

Donde,

DO: Densidad que posee el mosto

Fc: Factor de corrección

IBU's

$$IBU's = \frac{Plu * \%AA * \%U}{Lm * Fc * 10}$$

Donde,

IBU's: Unidad Internacional de Amargura

Plu: Peso del lúpulo en gramos

%AA: Porcentaje de Alpha ácidos que posee el lúpulo

%U: Porcentaje de utilización

Lm: Litros de mosto

Fc: Factor de corrección.

Para él %U se obtienen datos según el tiempo de adición de la siguiente tabla:

Tabla 3-4. Porcentaje de utilización del lúpulo en pellets y flores

Tiempo de hervor (min)	Porcentaje de utilización	
	Flor	Pellets
0 a 9	5	6
10 a 19	12	15
20 a 29	15	19
30 a 44	19	24
45 a 59	22	27
60 a 74	24	30
más de 75	27	34

Fuente: (Vogrig, 2004)

Experimentación

ρ (g/ml)	1056
---------------	------

Factor de corrección

$$Fc = 1 + \left[\frac{\left(\frac{DO}{1000} \right) - 1.05}{0.2} \right]$$

$$Fc = 1 + \left[\frac{(1.056) - 1.05}{0.2} \right]$$

$$Fc = 1 + \left[\frac{0.006}{0.2} \right]$$

$$Fc = 1 + [0.03]$$

$$Fc = 1.03$$

- *IBU's 1era Adición (lúpulo E.K.G.-60 min)*

$$IBU's = \frac{Plu * \%AA * \%U}{Lm * Fc * 10}$$

$$IBU's = \frac{45 \text{ g} * 5.5 * 30}{40.75 \text{ L} * 1.03 * 10}$$

$$IBU's = \frac{7425}{419.725}$$

$$IBU's = 17.69$$

- *IBU's 2da Adición (lúpulo E.K.G.-30 min)*

$$IBU's = \frac{Plu * \%AA * \%U}{Lm * Fc * 10}$$

$$IBU's = \frac{45 \text{ g} * 5.5 * 24}{40.75 \text{ L} * 1.03 * 10}$$

$$IBU's = \frac{5940}{419.725}$$

$$IBU's = 14.15$$

- *IBU's 3era Adición (lúpulo Hallertauer-15 min)*

$$IBU's = \frac{Plu * \%AA * \%U}{Lm * Fc * 10}$$

$$IBU's = \frac{20 \text{ g} * 6.5 * 15}{40.75 \text{ L} * 1.03 * 10}$$

$$IBU's = \frac{1950}{419.725}$$

$$IBU's = 4.65$$

IBU's Totales:

$$IBU's = 17.69 + 14.15 + 4.65$$

$$\mathbf{IBU's = 36.49}$$

Tabla 4-4. Resultados de las IBU's de cada experimentación al finalizar la cocción

Experimentación	IBU's
1	39.49

Elaborado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.4. Caracterización del mosto obtenido

4.4.1. Pruebas organolépticas

Las pruebas se las realizo en el Laboratorio Saqmic de Servicios Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, donde se presentan los siguientes resultados:

Tabla 5-4. Pruebas Organolépticas del mosto obtenido

Prueba	Resultado
Color	Característico
Olor	Característico
Sabor	Amargo
Transparencia	Claro
Aspecto	Normal, libre de material extraño

Elaborado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.4.2. Parámetros físico – químicos

4.4.2.1. Prueba de Yodo

Con el mosto obtenido se realiza la prueba de yodo de modo que muestre que no exista la presencia de almidón. En esta prueba entre menos coloración azul existe una degradación mayor del almidón, por lo que el yodo colorea el mosto macerado primero en un tono marrón rojizo, seguido de amarillo rojizo.

Tabla 6-4. Transición de color en prueba de yodo al mosto obtenido





Muestra de mosto lupulado con tono marrón rojizo



Muestra de mosto lupulado con coloración final amarillo rojizo



Muestra de mosto lupulado en prueba de yodo vista desde el microscopio

Elaborado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.4.3. Determinación de Grados plato

Con referencia al parámetro de la Norma INEN 2302 se obtuvieron los siguientes valores de grados plato, lo que indica que cumple la norma

Tabla 7-4. Parámetro de grados plato del mosto lupulado

Requisito	Min	Max
Extracto total expresado como ° Plato o %m/m	7,5	-

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

Tabla 8-4. Resultado de variables finales

<i>Variable</i>	<i>Valor</i>
ρ (Kg/L)	1.056
°Brix	13.3
°Plato	12.84

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.4.4. Parámetros Microbiológicos

Con respecto a los requisitos microbiológicos se debe cumplir con la normativa INEN 2 302:2009 la cual muestra los parámetros máximos y mínimos que el mosto debe cumplir. Las pruebas se las realizo en el Laboratorio Saqmic de Servicios Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos, donde se presentan los siguientes resultados:

Tabla 9-4. Requisitos microbiológicos

Requisitos	Min	Max
Mohos, ufc/cm ³	< 1	10
Levaduras, ufc/cm ³	< 1	10
Recuento estándar en placa REP ufc/cm ³	≤ 100	100

Realizado por: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)

Tabla 10-4. Resultados de ensayos microbiológicos

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Mohos y Levaduras	UFC / ml	Siembra en masa	10
Anaerobios Mesófilos	UFC / ml	Siembra en masa	100

Realizado por: Chalco Sara y Salazar Richard, 2021

4.5. Análisis y discusión de resultados

La Construcción del Equipo de maceración, cocción y serpentín, demandaron la utilización de acero inoxidable 304L ya que es de uso alimentario, además de tener cierta resistencia a la corrosión, oxidación y presentación de un precio económico, lo que hace que este material sea atractivo, lo cual se confirmó mediante investigación en organizaciones encargadas de plantear normas para el diseño, fabricación, instalación de materiales cilíndricos tales como: API (American Petroleum Institute) y ASME (American Society of Mechanical Engineers), construyendo así equipos con las respectivas especificaciones que demuestren calidad y confiabilidad en los mismo. Las diversas variables utilizadas para la construcción de equipos de maceración se evidenciaron mediante método experimental. La correcta mezcla entre agua y malta molida en relación 3 a 1 nos proporcionó un aceptable rendimiento, lo cual concuerda con

lo expuesto por (Megia Carrasco , 2016 pág. 24) “*La relación 3 a 1 para una mezcla en el proceso de maceración es estándar, y de ello dependerá el volumen del macerado*”. El proceso de maceración se ha llevado a una temperatura de 67 ± 3 °C debido a que en este rango es óptimo para la activación enzimática de la amilasa, es decir que al ir aumentando la temperatura en el macerado aumenta la velocidad de las reacciones catalizadas por las enzimas y sustancias químicas. No se puede elevar demasiado la temperatura en la maceración debido que a partir de los 78 °C se inactivan las enzimas, es así que al realizarse la experimentación se obtuvo un rendimiento del 45.7%, a la par de la temperatura, otro de los factores del cual depende el rendimiento es la molienda pues en la trituración de los granos se trata de extraer en la mayor cantidad posible el almidón contenido, no obstante tampoco se puede llevar la molienda a polvo o harina pues no se obtendrá la consistencia de empaste que se requiere, produciendo así una elevada turbidez. En el lavado del empaste, permite extraer los azúcares fermentables y no fermentables retenidos en los granos triturados tratando de aprovechar así más la malta molida. En cocción la adición de lúpulo se tomó en 3 tiempos: 60 minutos para dar el amargor al mosto, a los 30 minutos antes de finalizar la cocción para el sabor y 15 min antes de finalizar la cocción para dar aroma al mosto, es así que al finalizar la etapa se miden los IBU’s (International Bitterness Units) o unidad de medida internacional de amargor, donde se obtuvo el siguiente dato: 39.49IBU’s, tomando en cuenta que el tipo de malta utilizada fue Indian Pale Ale, se considera un mosto de moderado a muy amargo, lo que produce una cerveza artesanal amarga y de medio a alto contenido alcohólico. Este valor obtenido entra en el rango de la familia IPA Argentíne con un rango de amargor entre 35-60 IBU’s. (Picón Sanchez, 2020)

Al finalizar el proceso de maceración y realizar la posterior prueba de Yodo se demostró el desdoblamiento del almidón en azúcares de cadenas simples, oligosacáridos y dextrinas, ya que la prueba de yodo dio negativa (pues no se tornó azul), por lo cual se evidenció la correcta activación enzimática. Los resultados de los grados plato de la experimentación sobrepasan el límite inferior de la Norma INEN 2302, el cual es 7.5, manifestando que los grados plato de la experimentación cumplen la norma. Las pruebas organolépticas son aceptables, ya que cumplen con las características que debe tener un mosto para la producción de cerveza artesanal, con respecto al color por ser la malta de la familia Ale este puede variar desde colores muy pálidos a oscuros opalescentes. (Jara , y otros, 2007) En los resultados obtenidos en los ensayos microbiológicos se determinó que el producto cumple con los parámetros de la norma INEN 2302, siendo el mosto, apto para la siguiente etapa siendo la fermentación. Al terminar se demostró que la eficiencia en el proceso dependerá en su mayoría de la densidad con la cual ingrese la mezcla, siendo la densidad deseada al final del proceso de 1.040g/mL para cualquier tipo de mosto que se desee llevar al fermentador.

CONCLUSIONES

- La determinación de las variables de diseño se efectuó mediante método experimental, con lo cual se pudo distinguir que las variables presentes fueron densidad, pH (5.5) y Temperatura (67 °C), siendo estas variables dependientes, mientras que la variable independiente se encuentra en el tiempo: 90 minutos para maceración y 60 minutos para cocción. Es así que para el correcto desdoblamiento del almidón en el equipo de maceración se necesita una mezcla con una relación 3 a 1 (L de Agua / Kg de malta), manteniendo un pH ideal entre 5.2 y 5.7 conjuntamente con una temperatura de 67 +/- 3 °C para obtener el producto de salida deseado con una densidad de 1.040 g/ml aproximadamente.
- Se realizaron los diversos cálculos de ingeniería necesarios para el diseño del equipo de maceración, en función a la capacidad de trabajo o producción de 56 Litros. Se calculó la energía requerida para satisfacer las necesidades caloríficas en ambos recipientes del equipo, resultando cantidades menores a 4000Kcal/h, integrando quemadores de hierro fundido con alimentación de Gas Licuado de Petróleo capaces de otorgar la energía necesaria. Para el enfriamiento, se integra un serpentín, a partir de la altura del recipiente, determinando el número de vueltas y el tiempo de enfriamiento del mosto, logrando detener la proliferación bacteriana aportando un mosto óptimo para el posterior ingreso al equipo de fermentación.
- La construcción y ensamblaje del equipo de maceración demandó la utilización de normas especificadas por organizaciones tales como: API (American Petroleum Institute) y ASME (American Society of Mechanical Engineers), siendo el material seleccionado el acero inoxidable 304L. El Código ASME, Sección II, Materiales, Parte D facilitó la elección de este material, con respecto a la soldadura. Se escogió el método de la norma API 650-2017, el cual es ideal para evitar corrosión, siendo este el GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), ya que es propia para soldar tanques pequeños de acero inoxidable. Dichas normas facilitaron las especificaciones mínimas generales, construyendo y ensamblando recipientes de calidad, implementando además una bomba de 1/2hp que permitió el flujo del mosto por las tuberías hacia los recipientes, las mismas que están conectadas por medio de juntas para el desacople de estas para el transporte o limpieza.
- Se validó el funcionamiento del equipo de maceración por medio de la caracterización del mosto obtenido por método experimental, ya que el mismo cumplió con las diferentes especificaciones de la norma 2302, en lo que respecta a características organolépticas, físico químicas y microbiológicas, siendo apto para su ingreso a la siguiente etapa (Fermentación).

RECOMENDACIONES

- Es imprescindible la experimentación de diferentes métodos de maceración, con lo cual se podrá expandir las posibilidades de uso del equipo.
- El análisis de resultados deberá ser inmediato, y de preferencia se debe evitar mantener las muestras al ambiente ya que esto producirá el incumplimiento de las normas al momento de examinarlas.
- Se requiere la implementación de control automático para el equipo, con el fin de aumentar la eficiencia del proceso, además, de preservar el tiempo de vida de la bomba centrífuga, agilizando la elaboración del mosto y obteniendo un producto de calidad.
- Para obtener un buen rendimiento al momento de la post cocción, se recomienda añadir un filtro para retener aquellas impurezas producidas por el lúpulo, lo cual disminuirá la turbidez en el mosto.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEROS, Importa.** *Acero Inoxidable 304*. [Blog], 2021. [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable304/?gclid=Cj0KCQiAv6yCBhCLARIsABqJTjbSqsTwfrXdAVaciWixnUAefJhiRWvNHOLaphY8WEQ1bEglDwfdEwYaAvxfEALw_wcB.
- ARIAS, Gerardo.** "Calidad Industrial de la Cebada Cervecera". 1991. [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807120028.pdf>.
- ARONI, James; et al.** *Diseño de una línea de producción para la elaboración de cerveza artesanal de Algarroba*. (Piura, Perú). 2015.
- BRIGGS, D.; et al.** *Brewing Science and Practice*. [en línea]. Woodhead Publishing Limited, 2004. ISBN 1 85573 490 7, pp. 252-253..
- BRITO, H.** *Operaciones Unitarias I*. Riobamba, 2000.
- CARBONE.** *Ficha técnica del acero inoxidable*. [En línea] 2021. [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: <https://www.empresacarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>.
- CARVAJAL, J.** Curso de elaboración de cerveza, sidra y vinagre en forma casera. [En línea] 2000. [Consulta: 05 de 01 de 2021.]
- CHIQUITO, C.** Estudio de la Cerveza Artesanal en la ciudad de Guayaquil. [En línea] (Trabajo de Titulación). [Consulta: 12-03-2021]. Guayaquil, Ecuador. 2018. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35833/1/TESIS%20Gs.%20289%20-%20Estudio%20de%20la%20Cerveza%20Artesanal.pdf>.
- DIISA.** *Abrazaderas Clamp para Férrulas, Taponos Sanitarios y Empaques*. [Blog] 2012. [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: <http://tuberiasanitaria3a.com/pdf/Conexiones%20Sanitarias%203A%20Grado%20Alimenticio%20Farmaceutico.pdf>.
- ECHEVERRÍA, J., & GUTIERREZ, R.** Determinación de las características del mosto elaborado con malta caramelo para elaborar una cerveza artesanal. Guanajuato, México : s.n., 2010. DPN83 8.
- ELECTROMECAÑICAMM.** *Bomba centrífuga periférica*. [Blog] [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: <https://www.electromecanicamm.com.ar/producto/bomba-centrifuga-periferica-leo-ap-37-1-2-hp-220v/2459/>.
- FERREYRA, Leonel.** *Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales*. 2014.
- GERARD, Hawkins.** GBH Enterprises,Ltd. [En línea] [Consulta: 16 de Marzo de 2021]. Disponible en: www.GBHEnterprises.com.

GISBERT, Mauro. *Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza.* Valencia, España.

GOOGLE. Google Maps. [En línea] 2020. <https://www.google.com.ec/maps/search/esPOCH/@-1.6560008,-78.6789101,186m/data=!3m1!1e3>.

HIDALGO, María. *Desarrollo de cerveza a base de maíz morado.* Quito-Ecuador, 2015.

HOUGH, J. *Biotecnología de la cerveza y la malta.* Acribia S.A., 1990. ISBN: 84-200-0681-5.

HUXLEY, Steve. *La Cerveza..9 poesía líquida. Un Manual para cervesiófilos.* TREA, S. L., 2006. JSBN: 84-9704-232-8.

INEN 2302. 2009. *Bebida de malta*

JARA , Elizabeth,; et al. *Cerveza Artesanal "Rein Bier".* Santiago, Chile : s.n., 2007.

JOYE, D., & SMITH, A. *Evaluation of inmersion coil desings for natural convection-driven batch cooling or heating in tanks.* 2000. págs. 47-54.

KAYODE COKER, A. *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants.* Cuarta. s.l. : Elseiber Inc., 2015. Vol. III.

KLINGER. Válcula de Bola. *Catálogo de producto.* [Blog] 2018. [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: https://www.saidi.es/wp-content/uploads/2018/01/CATALOGO_VAL_BOLA_2016.pdf.

KUNZE, Wolfgang. *Tecnología para Cerveceros y Malteros.* Berlín. 2006. ISBN 10: 3-921 690-54-4.

MACEK, Martin. *Las Cervezas. Zonadiet.* [En línea] 2019. [Consulta: 04 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://www.zonadiet.com/bebidas/a-cerveza.php>.

MANOMETRIX. Abrazaderas Sanitarias Clamp. [En línea] [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: <https://www.manometrix.com.mx/productos/abrazaderas-sanitarias-clamp/>.

MARTÍNEZ, Christian. *Análisis prospectivo al 2020 de la industria de cerveza artesanal en el Ecuador como generadora de crecimiento ecnonómico.* [En línea]. 2015. Quito, Ecuador : s.n.

MATERIAL MUNDIAL NORMA ASTM AISI Y SAE US. *Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Técnica.* [En línea] 2020. [Consulta: 12 de 03 de 2021]. Disponible en: <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>.

MEGIA CARRASCO, Enrique. *Diseño de una Microplanta para la Elaboración de Cerveza Artesanal a partir de Malta.* [En línea] 2016. [Consulta: 04 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/99761/MEG%C3%8DA%20-%20DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20MICROPLANTA%20PARA%20LA%20ELABORACI%C3%93N%20DE%20CERVEZA%20ARTESANAL%20A%20PARTIR%20DE%20MALTA.pdf?sequence=1>.

MERELÓ, G.; & ZÚÑIGA, J. *Diseño y Construcción de un Equipo de Adaptación de Tecnología para elaboración de Cerveza Artesanal.* 2013. Guayaquil, Ecuador..

OCTAL. Tubería de Acero Inoxidable 304 Y 316. [En línea] [Consulta: 12 de 03 de 2021.]. Disponible en: <https://www.octalacero.com/tuberia-de-acero-inoxidable-304-316>.

- PAREDES EPINOZA, C.** Mejorar la extracción de azúcares y características de calidad de la cerveza durante la maceración de las cervezas red ale y blonde ale producidas en Andes Brewing Co. Noviembre de 2017 Ambato, Ecuador.
- PEREZ SÁNCHEZ, A; et al.** "Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona ", Camagüey : s.n., Junio de 2019, Nexo Revista Científica, Vol. 32, págs. 61-74.
- PICA, Pablo.** *Análisis de la molienda de malata de cebada y efectos en el rendimiento del mercado.* Sevilla, España : s.n., 2018.
- PICÓN, María.** *Análisis Físicoquímicos para el control de calidad en la producción de cerveza.* Sevilla, España : s.n., 2020.
- RUIZ , M.** *Compsición y calidad nutritiva de los alimentos.* Madrid : s.n., 2010.
- SANCHO, Rubén.** *Diseño de una micro-planta de fabricación de cerveza y estudio de técnicas y procesos de producción.* Barcelona : s.n., 09 de Junio de 2015.
- SUÁREZ DÍAZ, María.** *Cerveza: Componentes y propiedades.* Oviedo, España : s.n., 2013. Trabajo de Fin de Master.
- TIRENTI, Javier.** arveng training & Engineering. [En línea] Febrero de 2016. [Consulta: 16 de Marzo de 2021]. Disponible en: <https://arvengtraining.com/wp-content/uploads/2016/02/STI-NOTAS-DE-ESTUDIO-PRUEBA-1.pdf>.
- TRES JOTAS BEER CLUB.** Tres Jotas Beer Club. [En línea] 2020. [Citado el: 16 de Marzo de 2021.] <https://tresjotasbeerclub.com/calculadora-de-eficiencia-de-proceso-cerveceros/>.
- VAXASOFTWARE.** *Área, perímetro y volumen de figuras del plano y del espacio.*
- VERA , M.; & SILVA, A.** *Química Industrial Orgánica. Industria de la fermentación alcohólica.* 2006.
- VOGRIG, Walter.** *Cálculo de IBU´s.* Revista Mash. [En línea] 2004. [Consulta: 15 de 02 de 2021]. Disponible en: [https://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=71#:~:text=simplificamos%20nos%20queda-,IBUs%20%3D%20Plu%20*%20AA*%20%25,U%20%2F%20\(%20Lm%20*%2010%20\)&text=Este%20se%20basa%20en%20aplicar,esta%2C%20este%20factor%20ser%C3%A1%201..](https://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=71#:~:text=simplificamos%20nos%20queda-,IBUs%20%3D%20Plu%20*%20AA*%20%25,U%20%2F%20(%20Lm%20*%2010%20)&text=Este%20se%20basa%20en%20aplicar,esta%2C%20este%20factor%20ser%C3%A1%201..)
- VOGUEL, W.** *Elaboración casera de cerveza.* Quinta. s.l. : Acribia S.A., 1999.
- YUNUS, A.** *Transferencia de Calor y Masa.* Cuarta. s.l. : Mc Graw Hill , 2011. ISBN 978-0-07-339812-9.

ANEXOS

ANEXO A. Tabla de relación del tiempo de hervido vs densidad de mosto

Boil Time (min)	Original Gravity										
	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100	1.110	1.120	1.130
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.034	0.031	0.029	0.026	0.024	0.022	0.020	0.018	0.017	0.015	0.014
6	0.065	0.059	0.054	0.049	0.045	0.041	0.038	0.035	0.032	0.029	0.026
9	0.092	0.084	0.077	0.070	0.064	0.059	0.054	0.049	0.045	0.041	0.037
12	0.116	0.106	0.097	0.088	0.081	0.074	0.068	0.062	0.056	0.052	0.047
15	0.137	0.125	0.114	0.105	0.096	0.087	0.080	0.073	0.067	0.061	0.056
18	0.156	0.142	0.130	0.119	0.109	0.099	0.091	0.083	0.076	0.069	0.063
21	0.173	0.158	0.144	0.132	0.120	0.110	0.101	0.092	0.084	0.077	0.070
24	0.187	0.171	0.157	0.143	0.131	0.120	0.109	0.100	0.091	0.083	0.076
27	0.201	0.183	0.168	0.153	0.140	0.128	0.117	0.107	0.098	0.089	0.082
30	0.212	0.194	0.177	0.162	0.148	0.135	0.124	0.113	0.103	0.094	0.086
33	0.223	0.203	0.186	0.170	0.155	0.142	0.130	0.119	0.108	0.099	0.091
36	0.232	0.212	0.194	0.177	0.162	0.148	0.135	0.124	0.113	0.103	0.094
39	0.240	0.219	0.200	0.183	0.167	0.153	0.140	0.128	0.117	0.107	0.098
42	0.247	0.226	0.206	0.189	0.172	0.158	0.144	0.132	0.120	0.110	0.101
45	0.253	0.232	0.212	0.194	0.177	0.162	0.148	0.135	0.123	0.113	0.103
48	0.259	0.237	0.216	0.198	0.181	0.165	0.151	0.138	0.126	0.115	0.105
51	0.264	0.241	0.221	0.202	0.184	0.169	0.154	0.141	0.129	0.118	0.108
54	0.269	0.246	0.224	0.205	0.188	0.171	0.157	0.143	0.131	0.120	0.109
57	0.273	0.249	0.228	0.208	0.190	0.174	0.159	0.145	0.133	0.121	0.111
60	0.276	0.252	0.231	0.211	0.193	0.176	0.161	0.147	0.135	0.123	0.112
70	0.285	0.261	0.238	0.218	0.199	0.182	0.166	0.152	0.139	0.127	0.116
80	0.291	0.266	0.243	0.222	0.203	0.186	0.170	0.155	0.142	0.130	0.119
90	0.295	0.270	0.247	0.226	0.206	0.188	0.172	0.157	0.144	0.132	0.120
120	0.301	0.275	0.252	0.230	0.210	0.192	0.176	0.161	0.147	0.134	0.123

ANEXO B. Tabla de rendimiento según el tipo de malta

TIPO DE MALTA	RENDIMIENTO
2 ROW LAGER MALT	80
6 ROW BASE MALT	76
2 ROW PALE ALE MALT	81
BISCUIT/VICTORY MALT	75
VIENNA MALT	75
MUNICH MALT	75
BROWN MALT	70
DEXTRIN MALT	70
LIGHT CRYSTAL (10 – 15L)	75
PALE CRYSTAL (25 – 40L)	74
MEDIUM CRYSTAL (60 – 75L)	74
DARK CRYSTAL (120L)	72
SPECIAL B	68
CHOCOLATE MALT	60
ROAST BARLEY	55
BLACK PATENT MALT	55
WHEAT MALT	79
RYE MALT	63
OATMEAL (FLAKED)	70
CORN (FLAKED)	84
BARLEY (FLAKED)	70
WHEAT (FLAKED)	77
RICE (FLAKED)	82
MALTO – DEXTRIN POWDER	100
SUGAR (CORN, CANE)	100

ANEXO C. Índice de Amargor para cervezas Pale Ale

Denominación	Alcohol (%ABV)	Amargor (IBU)	Color (EBC)
IPA Argentine	5.0 – 6.5	35 – 60	12 – 30
IPA English	5.0 – 7.5	40 – 60	12 – 28
IPA American	5.5 – 7.5	40 – 70	12 – 28
IPA Specialty	5.5 – 10.0	40 – 100	10 – 79
IPA Double	7.5 – 10.0	60 – 120	12 – 28

ANEXO D. Examen Microbiológico del Mosto



EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO: 150-21

CLIENTE: Paola Córdova
TIPO DE MUESTRA: Mosto
FECHA DE RECEPCIÓN: 02 de marzo del 2021
FECHA DE MUESTREO: 02 de marzo del 2021
EXAMEN FÍSICO

COLOR: Característico
OLOR: Característico
ASPECTO: Normal, libre de material extraño

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Anaerobios mesófilos	UFC / mL	Siembra en masa	100
Mohos y levaduras	UFC / mL	Siembra en masa	10

RESPONSABLE:

Dra. Gina Álvarez R.



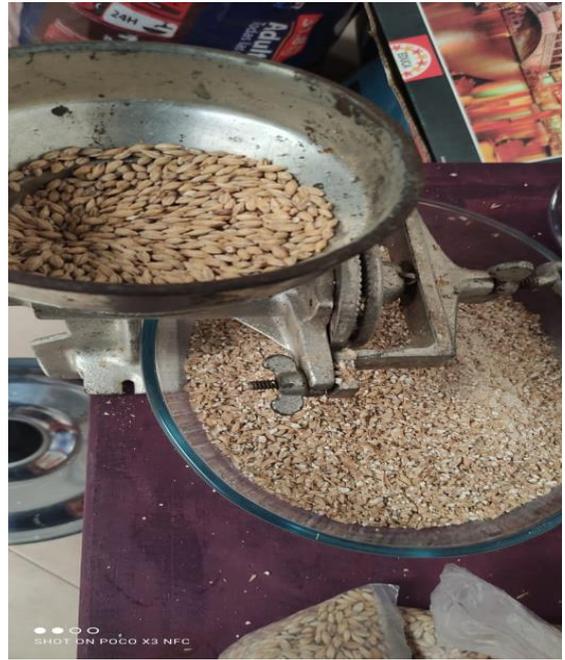
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

*La muestra es receptada en laboratorio.

ANEXO E. Implementación del sistema de tuberías en los recipientes; Desinfección de los recipientes.



ANEXO F. Proceso de maceración: Selección de Malta y complementos, Molienda de malta, ingreso de agua y de malta molida.



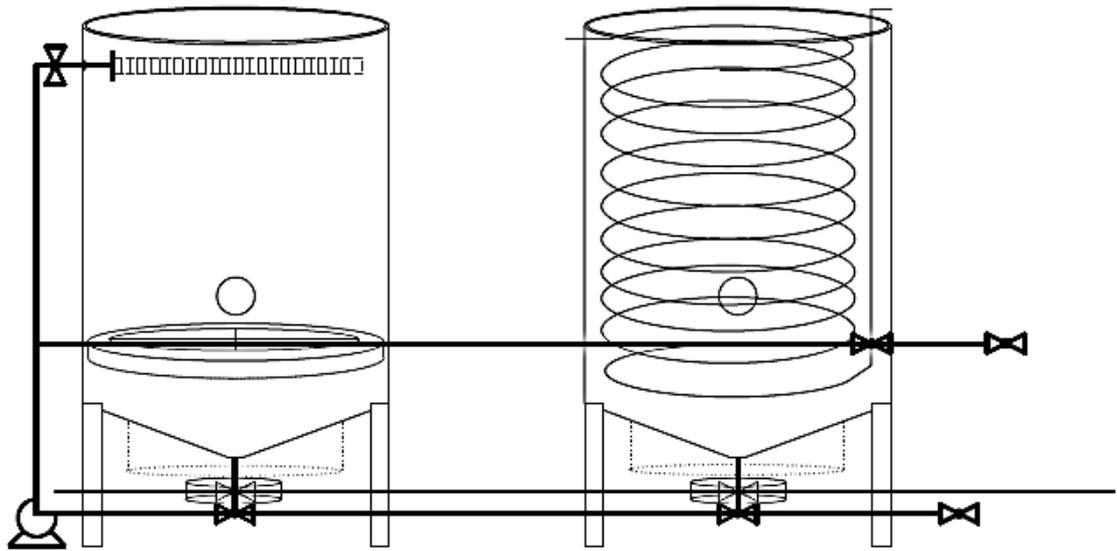
ANEXO G. Proceso de maceración: Mezcla de agua y malta molida; Lavado y recirculado del mosto; Llenado del recipiente de cocción; Bagazo resultante.



ANEXO H. Proceso de maceración: Agregación de lúpulo en la cocción a 60min, 40min y 15min.

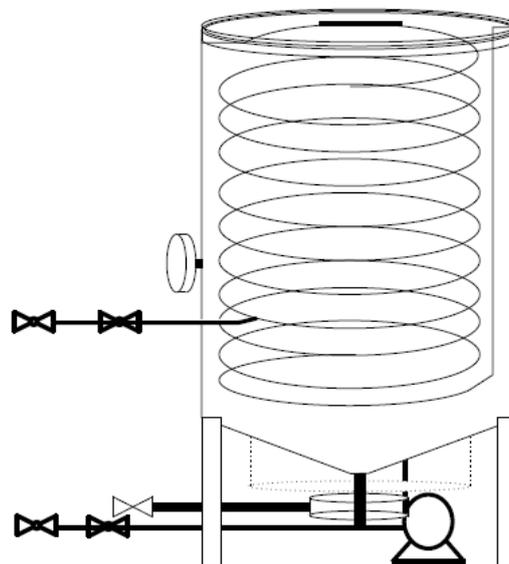


ANEXO I. Sistema de Tuberías y Válvulas



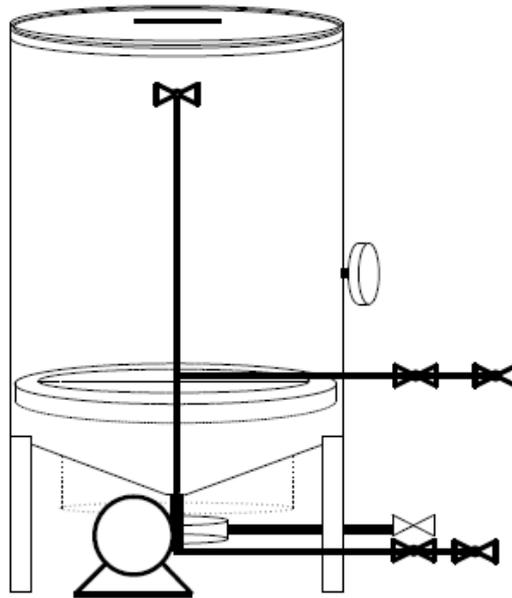
VISTA FRONTAL DEL EQUIPO DE MACERACIÓN

ANEXO J. Vista Superior Equipo



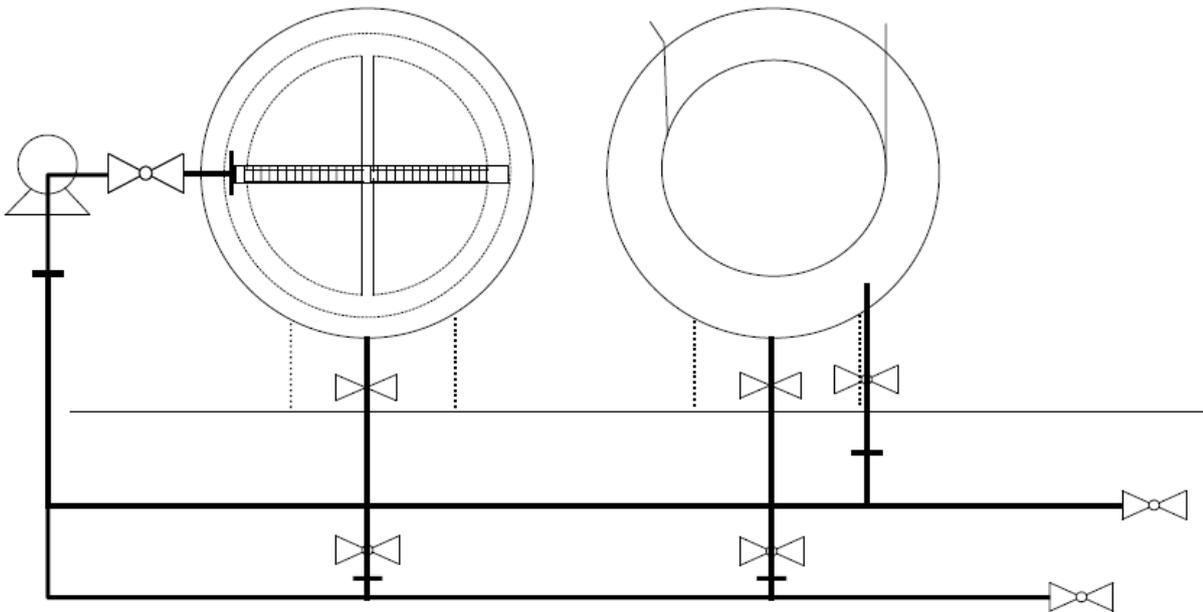
VISTA LATERAL DERECHA DEL EQUIPO DE MACERACIÓN

ANEXO K. Vista Lateral del Equipo



VISTA LATERAL IZQUIERDA DEL EQUIPO DE MACERACIÓN

ANEXO L. Vista Frontal del Equipo



VISTA SUPERIOR DEL EQUIPO DE MACERACIÓN

ANEXO M. Certificado de entrega de Equipo



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

Oficio No. 04. L.PI.2021
Riobamba, 06 de septiembre de 2021

Ingenieros
COMISIÓN DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
Presente

De mi consideración:

Con un cordial saludo, mediante la presente me permito indicar que los estudiantes: Sara Moserrath Chalco Narvaez y Richard Alexander Salazar Chichande, con CI. 185008485-4 y 210052830-2 de la Carrera de Ingeniería Química realizaron la entrega del equipo Macerador, así como los manuales y documentos requeridos para el laboratorio de Procesos Industriales, el cual se recibe en óptimas condiciones y fue previamente validado por su comisión como parte del trabajo de titulación denominado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MACERACIÓN COMO PARTE DE UNA LÍNEA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL".

Por su gentil atención y aceptación al presente anticipo mi sincero agradecimiento.

Atentamente,
"Saber para ser"



CARLA VIVIANA
HARO
VELASTEGUI

Ing. Carla Haro
TÉCNICO DE LABORATORIO



c.c. Estudiantes.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Sara Monserrath Chalco Narvaez Richard Alexander Salazar Chichande</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**
Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, o=ESPOCH,
serialNumber=060276697A,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.10.19 09:23:20
-05'00'



1122-DBRA-UTP-2021