



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**REDISEÑO, REPOTENCIACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA
LINEA DE CERVEZA ARTESANAL EXISTENTE EN EL
LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

CANDO LARA HENRY ANDRÉS

CONTERÓN PADILLA LIZETH FERNANDA

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**REDISEÑO, REPOTENCIACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA
LINEA DE CERVEZA ARTESANAL EXISTENTE EN EL
LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: CANDO LARA HENRY ANDRÉS

CONTERÓN PADILLA LIZETH FERNANDA

DIRECTORA: Ing. KATHERINE GISSEL TIXI GALLEGOS, Mgs

Riobamba - Ecuador

2023

© 2023, Henry Andrés Cando Lara & Lizeth Fernanda Conterón Padilla

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 de Autor.

Nosotros, Henry Andrés Cando Lara & Lizeth Fernanda Conterón Padilla, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo 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 integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 mayo de 2023



Henry Andrés Cando Lara

C.I. 0604401133



Lizeth Fernanda Conterón Padilla

C.I. 0606243772

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **REDISEÑO, REPOTENCIACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA LINEA DE CERVEZA ARTESANAL EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ESPOCH**, realizado por los señores: **HENRY ANDRÉS CANDO LARA** y **LIZETH FERNANDA CONTERÓN PADILLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

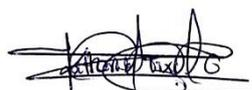
FIRMA

FECHA



Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, Mgs
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2023-05-10



Ing. Katherine Gissel Tixi Gallegos, Mgs
DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

2023-05-10



Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

2023-05-10

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación la dedico en primer lugar a Dios por brindarme salud y vida, a mi familia que me apoyado en cada etapa y decisión en mi vida para cumplir mis metas, a mis padres María y Gerardo, mis hermanos Josue y John, tío Fausto que gracias a su presencia y esfuerzo diario han formado y construido la persona que soy.

Lizeth

Este trabajo está dedicado a Dios en primer lugar por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación, a mis padres Luis y Beatriz que me han dado el ejemplo de esfuerzo y responsabilidad para avanzar en el camino de mi vida, y me ha brindado el apoyo incondicional en mis decisiones. A mi hermano Fernando y hermanas Gaby y Mayra que han sido incondicionales en amor y comprensión para ser quien soy hoy en día.

Henry

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos brindado salud y vida, en segundo lugar, a nuestras familias que ha sido nuestro pilar fundamental de apoyo y esfuerzo, queremos agradecer a la ESPOCH por la oportunidad de formación como ser humano y profesional. A nuestra directora la Ing. Katherine Gissel Tixi Gallegos y a nuestro asesor Ing. Segundo Hugo Calderón que han sido guías fundamentales y necesarias en este proyecto técnico ya que con su conocimiento, paciencia y tiempo hemos logrado culminar con nuestro trabajo de integración curricular.

Lizeth & Henry

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. Beneficiarios directos e indirectos.....	4
1.4.1. <i>Beneficiarios directos</i>	4
1.4.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	4
1.5. Objetivos del proyecto.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Referencias teóricas.....	5
2.2.1. <i>Definición de cerveza artesanal</i>	5
2.2.2. <i>Tipos de cerveza</i>	6
2.2.2.1. <i>Cervezas de baja fermentación</i>	6
2.2.2.2. <i>Cervezas de alta fermentación</i>	6
2.2.3. <i>Materias primas para la elaboración de la cerveza</i>	7
2.2.3.1. <i>Cebada</i>	7
2.2.3.2. <i>Agua</i>	8

2.2.3.3.	<i>Lúpulo</i>	10
2.2.3.4.	<i>Levadura</i>	11
2.2.3.5.	<i>Clarificante</i>	12
2.2.4.	<i>Elaboración de cerveza artesanal</i>	13
2.2.4.1.	<i>Molienda</i>	13
2.2.4.2.	<i>Maceración</i>	14
2.2.4.3.	<i>Cocción</i>	14
2.2.4.4.	<i>Enfriamiento</i>	14
2.2.4.5.	<i>Fermentación</i>	16
2.2.4.6.	<i>Maduración</i>	16
2.2.4.7.	<i>Carbonatación</i>	17
2.2.4.8.	<i>Envasado</i>	17
2.2.5.	<i>Equipos para la producción de cerveza artesanal</i>	17
2.2.5.1.	<i>Molino de rodillos</i>	17
2.2.5.2.	<i>Olla de hervido</i>	18
2.2.5.3.	<i>Olla de maceración</i>	18
2.2.5.4.	<i>Olla de cocción</i>	18
2.2.5.5.	<i>Fermentador</i>	18
2.2.5.6.	<i>Carbonatador</i>	19
2.2.5.7.	<i>Llenador de botellas a contra presión</i>	19
2.2.6.	<i>Accesorios utilizados para la producción de cerveza artesanal</i>	20
2.2.6.1.	<i>Tubería de acero inoxidable</i>	20
2.2.6.2.	<i>Uniones Clamp</i>	21
2.2.6.3.	<i>Válvulas de bola</i>	21
2.2.6.4.	<i>Termómetro</i>	22
2.2.6.5.	<i>Quemador industrial</i>	22
2.2.6.6.	<i>Bomba centrífuga</i>	23
2.2.6.7.	<i>Tanque de CO₂</i>	23
2.2.6.8.	<i>Airlock</i>	24
2.2.7.	<i>Normas utilizadas para el diseño de los equipos</i>	24
2.2.7.1.	<i>API (American Petroleum Institute)</i>	25
2.2.7.2.	<i>ASME (American Society of Mechanical Engineers)</i>	25
2.2.8.	<i>Selección del material de construcción</i>	25
2.2.9.	<i>Calidad e inocuidad en la cerveza</i>	25
2.2.9.1.	<i>Apariencia</i>	26
2.2.9.2.	<i>Sabor</i>	26
2.2.9.3.	<i>Inocuidad en la cerveza</i>	26

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	28
3.1.	Planificación	28
3.1.1.	<i>Tipo de estudio</i>	28
3.1.2.	<i>Métodos</i>	28
3.1.2.1.	<i>Método experimental</i>	28
3.1.2.2.	<i>Método cuantitativo</i>	28
3.1.3.	<i>Lugar de estudio</i>	29
3.1.4.	<i>Técnicas para determinar la calidad de la cerveza</i>	29
3.2.	Experimentación	32
3.2.1.	<i>Equipos, materiales y materias primas empleados durante el proceso</i>	32
3.2.2.	<i>Descripción de los procesos existentes en la línea base</i>	34
3.2.2.1.	<i>Maceración</i>	35
3.2.2.2.	<i>Lavado de granos</i>	35
3.2.2.3.	<i>Cocción</i>	35
3.2.2.4.	<i>Enfriamiento</i>	35
3.2.2.5.	<i>Fermentación</i>	35
3.2.2.6.	<i>Maduración</i>	36
3.2.2.7.	<i>Carbonatación</i>	36
3.2.3.	<i>Variables del proceso</i>	36
3.2.4.	<i>Situación actual de la línea de producción</i>	37
3.3.	Balances de masa y energía de la línea base	37
3.3.1.	<i>Balance de masa de la línea base</i>	37
3.3.1.1.	<i>Maceración</i>	38
3.3.1.2.	<i>Cocción</i>	41
3.3.1.3.	<i>Fermentación</i>	43
3.3.1.4.	<i>Maduración</i>	44
3.3.1.5.	<i>Carbonatación</i>	45
3.3.2.	<i>Balance de energía de la línea base</i>	46
3.3.2.1.	<i>Macerador</i>	46
3.3.2.2.	<i>Cocción</i>	47
3.3.2.3.	<i>Fermentación</i>	47
3.3.3.	<i>Balance General de masa de la línea base</i>	49
3.3.4.	<i>Diagrama P&ID de tuberías y accesorios de la línea base</i>	50
3.4.	Cálculos de rediseño y dimensionamiento de los equipos	52

3.4.1.	<i>Rediseño de los equipos</i>	52
3.4.1.1.	<i>Rediseño de las ollas de maceración y cocción</i>	52
3.4.1.2.	<i>Rediseño de un falso fondo</i>	54
3.4.2.	<i>Dimensionamiento de los equipos a implementar</i>	56
3.4.2.1.	<i>Diseño de un molino de rodillos para malta</i>	56
3.4.2.2	<i>Diseño de un intercambiador de calor por placas</i>	59
3.5.	Equipos complementarios	72
3.5.1.	<i>Filtro de cartucho lavable para mosto</i>	72
3.5.2.	<i>Llenador a contra presión</i>	73
3.6.	Optimización de la línea base rediseño e implementación de equipos	74
3.6.1.	<i>Descripción del proceso actual</i>	74
3.6.1.1.	<i>Molienda</i>	75
3.6.1.2.	<i>Maceración</i>	75
3.6.1.3.	<i>Lavado de granos</i>	75
3.6.1.4.	<i>Cocción</i>	75
3.6.1.5.	<i>Enfriamiento</i>	75
3.6.1.6.	<i>Fermentación</i>	76
3.6.1.7.	<i>Maduración</i>	76
3.6.1.8.	<i>Filtración</i>	76
3.6.1.9.	<i>Carbonatación</i>	76
3.6.1.10.	<i>Embotellado</i>	76
3.7.	Balance de masa y energía de la línea repotenciada	77
3.7.1.	<i>Balance de masa</i>	77
3.7.1.1.	<i>Molienda</i>	77
3.7.1.2.	<i>Maceración</i>	78
3.7.1.3.	<i>Cocción</i>	82
3.7.1.4.	<i>Fermentación</i>	83
3.7.1.5.	<i>Maduración</i>	84
3.7.1.6.	<i>Filtración</i>	85
3.7.1.7.	<i>Carbonatación</i>	86
3.7.1.8.	<i>Embotellado</i>	87
3.7.2.	<i>Balance de energía</i>	88
3.7.2.1.	<i>Macerador</i>	88
3.7.2.2.	<i>Cocción</i>	89
3.7.2.3.	<i>Fermentación</i>	89
3.7.3.	<i>Balance General de masa de la línea repotenciada</i>	91

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	93
4.1.	Resultados de los análisis de laboratorio obtenidos de la cerveza elaborada en la línea base	93
4.1.1.	<i>Pruebas físicas y químicas</i>	93
4.1.2.	<i>Parámetros microbiológicos</i>	93
4.1.3.	<i>Pruebas organolépticas</i>	94
4.1.4.	<i>Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza</i>	94
4.2.	Resultados de la cerveza elaborada en la línea repotenciada	95
4.2.1.	<i>Pruebas físicas y químicas</i>	95
4.2.2.	<i>Parámetros microbiológicos</i>	95
4.2.3.	<i>Pruebas organolépticas</i>	96
4.2.4.	<i>Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza</i>	96
4.3.	Comparación de los parámetros de calidad de la cerveza artesanal de la línea base con la línea repotenciada	96
4.4.	Comparación de los parámetros microbiológicos de la línea base y repotenciada	97
4.5.	Comparación de la turbiedad en la cerveza de la línea base y repotenciada	98
4.7.	Balances de masa de la línea base y repotenciada	99
4.8.	Rendimientos obtenidos dentro del proceso	100
4.9.	Eficiencia en el proceso de maceración de la línea base y repotenciada	101
4.9.1.	<i>Resultados en el proceso de enfriamiento del mosto</i>	101
4.10.	Resultados del diseño y dimensionamiento de los equipos	102
4.10.1.	<i>Implementación del molino de rodillos</i>	102
4.10.2.	<i>Implementación de un intercambiador de calor por placas</i>	102
4.10.3.	<i>Rediseño del falso fondo</i>	103
4.10.4.	<i>Diseño de una olla de cocción</i>	103
4.10.5.	<i>Cuadro resumen de los equipos implementados</i>	104
4.11.	Propuestas	104
4.11.1.	<i>Diagrama P&ID de tuberías y accesorios de la línea repotenciada</i>	107
4.12.	Análisis y discusión de resultados	108
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	112
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tipos de cerveza Lager (fermentación baja)	6
Tabla 2-2: Tipos de cerveza Ale (fermentación alta)	7
Tabla 3-2: Características de la cebada	8
Tabla 4-2: Tipos de maltas más utilizadas	8
Tabla 5-2: Composición química del lúpulo	10
Tabla 6-2: Tipos de lúpulo y su utilización en la cerveza	11
Tabla 7-2: Tipos de levadura según la cerveza deseada	12
Tabla 8-2: Tipos de clarificantes usados en la cerveza	13
Tabla 9-2: Niveles de carbonatación dependiendo del estilo	17
Tabla 10-2: Parámetro fisicoquímicos a considerar en la cerveza artesanal	27
Tabla 11-2: Parámetros microbiológicos en la cerveza artesanal	27
Tabla 1-3: Determinación de pH	29
Tabla 2-3: Determinación de grados Brix	30
Tabla 3-3: Determinación de la densidad	30
Tabla 4-3: Determinación de acidez total (expresado como ácido láctico)	31
Tabla 5-3: Determinación de alcohol	31
Tabla 6-3: Determinación de microorganismos aerobios	32
Tabla 7-3: Determinación de mohos y levaduras	32
Tabla 8-3: Equipos, materiales y materias primas	33
Tabla 9-3: Definición de las materias primas utilizadas durante la experimentación	33
Tabla 10-3: Determinación de los parámetros y variables del proceso	36
Tabla 11-3: Datos conocidos para realizar el balance de materia	37
Tabla 12-3: Normas seleccionadas para la construcción de la olla de cocción	52
Tabla 13-3: Condiciones específicas de la cebada	56
Tabla 14-3: Determinación del coeficiente de fricción	57
Tabla 15-3: Tabla de especificaciones iniciales para el diseño del ICP	62
Tabla 16-3: Especificaciones del filtro lavable	72
Tabla 17-3: Especificaciones del llenador a contra presión	73
Tabla 18-3: Datos conocidas para realizar el balance de masa	77
Tabla 1-4: Parámetros físicas y químicas de la cerveza obtenida en la línea base	93
Tabla 2-4: Parámetros microbiológicos de la cerveza obtenida en la línea base	93
Tabla 3-4: Pruebas organolépticas de la cerveza obtenida en la Línea base	94
Tabla 4-4: Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza en la línea base	94
Tabla 5-4: Parámetros físicas y químicas de la cerveza obtenida en la línea repotenciada	95

Tabla 6-4: Parámetros microbiológicos de la cerveza obtenida en la línea base	95
Tabla 7-4: Pruebas organolépticas de la cerveza obtenida en la Línea Repotenciada	96
Tabla 8-4: Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza en la línea base	96
Tabla 9-4: Turbiedad en la cerveza de la línea base y repotenciada	98
Tabla 10-4: Resultados de los balances de masa de la línea base y repotenciada.....	99
Tabla 11-4: Diferencias de los rendimientos	100
Tabla 12-4: Valores de eficiencia	101
Tabla 13-4: Equipos utilizados en la etapa de enfriamiento	101
Tabla 14-4: Especificaciones del molino manual de dos rodillos.....	102
Tabla 15-4: Especificaciones del intercambiador de calor por placas	102
Tabla 16-4: Especificaciones del falso fondo	103
Tabla 17-4: Especificaciones del diseño de una olla de cocción	103
Tabla 18-4: Equipos utilizados para el rediseño de la línea de cerveza.....	104
Tabla 19-4: Propuesta realizada a la línea base	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Estructura del grano de cebada	7
Ilustración 2-2: Proceso de elaboración de cerveza artesanal.....	13
Ilustración 3-2: Serpentín en forma de espiral.....	15
Ilustración 4-2: Intercambiador de calor por placas.	15
Ilustración 5-2: Serpentín a contracorriente.	16
Ilustración 6-2: Molido de dos rodillos para malta.....	17
Ilustración 7-2: Tanque de fermentación.....	18
Ilustración 8-2: Equipo de gasificación para cervezas.	19
Ilustración 9-2: Llenador de botellas a contra presión de dos vías.....	19
Ilustración 10-2: Tubería de acero inoxidable.	20
Ilustración 11-2: Abrazadera clamp de un solo perno con empaque.....	21
Ilustración 12-2: Válvula de bola.	21
Ilustración 13-2: Termómetro análogo.....	22
Ilustración 14-2: Quemador industrial de acero fundido.....	22
Ilustración 15-2: Bomba centrífuga.....	23
Ilustración 16-2: Tanque de CO ₂ para la industria alimentaria.....	23
Ilustración 17-2: Escala de colores de la European Brewr Convention.	26
Ilustración 1-3: Ubicación del laboratorio de procesos industriales.....	29
Ilustración 2-3: Diagrama de flujo de la línea base.	34
Ilustración 3-3: Balance de masa de la etapa de maceración.....	39
Ilustración 4-3: Balance de masa del lavado de granos.....	41
Ilustración 5-3: Balance de masa de la etapa de cocción.....	42
Ilustración 6-3: Balance de masa de la etapa de fermentación	43
Ilustración 7-3: Balance de masa de la etapa de maduración	44
Ilustración 8-3: Balance de masa en la etapa de carbonatación.....	45
Ilustración 9-3: Balance general de la línea base.....	49
Ilustración 10-3: Diagrama P&ID de la línea base.....	50
Ilustración 11-3: Olla de cocción.	52
Ilustración 12-3: Falso fondo.	54
Ilustración 13-3: Molino de rodillos para malta.....	56
Ilustración 14-3: Enfriador de 20 placas	59
Ilustración 15-3: Constantes para transferencia de calor monofásica y pérdida de presión.	69
Ilustración 16-3: Filtro para mosto.....	72
Ilustración 17-3: Llenador a contra presión.....	73

Ilustración 18-3: Diagrama de flujo de la línea propuesta.	74
Ilustración 19-3: Balance de masa de la etapa molienda.....	78
Ilustración 20-3: Balance de masa de la etapa de maceración	80
Ilustración 21-3: Balance de masa de la etapa de lavado de granos.....	81
Ilustración 22-3: Balance de masa en la etapa de cocción	82
Ilustración 23-3: Balance de masa de la etapa de fermentación.....	84
Ilustración 24-3: Balance de masa de la etapa de maduración.....	85
Ilustración 25-3: Balance de masa en la etapa de fermentación del mosto	86
Ilustración 26-3: Balance de masa de la etapa de carbonatación	87
Ilustración 27-3: Balance general de la línea repotenciada	91
Ilustración 1-4: Comparación de las pruebas físicas-químicas de la línea base y repotenciada	96
Ilustración 2-4: Comparación de las pruebas microbiológicas de la línea base y repotenciada	97
Ilustración 3-4: Comparación de los parámetros de inocuidad de la línea base y la línea repotenciada.....	98
Ilustración 4-4: Comparación de los rendimientos.....	100
Ilustración 5-4: Comparación de los métodos de enfriamiento.....	101
Ilustración 6-4: Diagrama P&ID de la línea repotenciada	107

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

ANEXO B: RENDIMIENTO DE LAS MALTAS

ANEXO C: VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS

ANEXO D: PRUEBAS FISICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA CERVEZA
(LINEA BASE)

ANEXO E: PRUEBAS FISICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA

ANEXO F: PRUEBAS DE INOCUIDAD DE LA CERVEZA DE LA LINEA BASE Y LINEA
REPOTENCIADA

ANEXO G: PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE CERVEZA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Ángulo de contacto
A_1	Área del cilindro
A_{B1}	Área base del recipiente
A_{BF}	Área base del filtro
A_e	Área efectiva (definida como parámetro de diseño)
A_{L1}	Área lateral del cilindro
A_{LF}	Área lateral del filtro
b	paso medio de placa
B_{hum}	Bagazo húmedo
B_s	Bagazo seco
C	Masa de la cebada
C_p	Capacidad calorífica del agua a 20 °C
C_{pA}	Calor específico del agua a la temperatura
C_{pM}	Calor específico del mosto a la temperatura
D_f	Diámetro medio de las partículas finas
D_p	Diámetro de los puertos
D_r	Diámetro de rodillos
ex	Extracto del mosto
exT	Masa de extracto total
G_0	Gravedad específica del mosto
ICP	Intercambiador de calor por placas
L	Longitud de acero de contacto
L_h	Distancia horizontal entre puertos
m_{H2O}	Masa de agua que ingresa
m_{bio}	Masa de la biomasa
m_{cerv}	Masa de cerveza obtenida posterior a la fermentación
$m_{cerv carb}$	Masa de cerveza carbonatada
m_{CO_2}	Masa de CO ₂
$m_{CO_2 desp}$	Masa de CO ₂ desprendido
$m_{desperdicio}$	Masa del desperdicio que se genera
$m_{H2O evap}$	Agua evaporada
$m_{H2O lav}$	Masa de agua de lavado

$m_{levadura}$	=	Masa de la levadura
m_{lupulo}	=	Masa del lúpulo
$m_{madurada}$	=	Masa de la cerveza madurada
m_{malta}	=	Masa de la malta
m_{mosto}	=	Masa del mosto antes del lavado
$m_{mosto f}$	=	Mosto filtrado
$m_{mosto L}$	=	Masa del mosto después del lavado
$m_{mosto S}$	=	Mosto de salida para la fermentación
N	=	Revoluciones por minutos del molino
N_{cp}	=	Número de canales por paso
N_e	=	Número efectivo de placas
Nt	=	Número total de placas
P_i	=	Densidad inicial 1,050 g/ml
Q	=	Cantidad a triturar
Q_c	=	Calor cedido
Q_g	=	Calor ganado
Q_M	=	flujo volumetrico del mosto
r	=	Radio del recipiente
R_{malta}	=	Rendimiento de la malta
t	=	espesor de la placa
T_{eA}	=	Temperatura de entrada del agua
T_{eM}	=	Temperatura de entrada del mosto
T_{sA}	=	Temperatura de salida del agua
T_{sM}	=	Temperatura de salida del mosto
t_{prom}	=	Tiempo promedio de enfriamiento
V	=	Volumen del cilindro
$V_{f_{mosto}}$	=	Volumen final del mosto
V_{mosto}	=	Volumen del mosto en la maceración
θ	=	Ángulo
λ	=	Calor latente del agua 100 °C
μ	=	Coefficiente de fricción
ρ_M	=	Densidad del mosto
η	=	Eficiencia del mosto
$\Delta T(T_f - T_i)$	=	Diferencia de temperatura
\dot{m}_A	=	Flujo másico del agua
\dot{m}_M	=	Flujo másico del mosto

RESUMEN

El objetivo de este trabajo técnico fue rediseñar y repotenciar la Línea de Cerveza Artesanal ubicada en el Laboratorio de Proceso Industriales de la ESPOCH, para lo cual se obtuvo un lote de cerveza artesanal de 40 L Tipo Abadía Ámbar y se realizó las respectivas pruebas de calidad e inocuidad basadas en la NORMA INEN 2262:2013 para bebidas alcohólicas, para conocer los parámetros fuera de norma y controlar dichos valores. Se identificó las variables tomadas en cuenta para el rediseño de la línea que influyen en los cálculos y dimensionamiento de las diferentes etapas las cuales fueron las variables dependientes como: densidad inicial, grados Brix, pH y densidad final. Las variables independientes identificadas fueron: temperatura, tiempo y presión de esta forma se analizó la situación actual de línea base. Mediante cálculos se rediseño: el falso fondo en la etapa de maceración y la tapa del tanque de fermentación. Además del diseño e implementación de un molino para la trituración de la malta, olla de hervido, enfriador de placas de 20 placas para disminuir el tiempo de enfriamiento de 3 horas a 20 minutos, filtro lavable para mejorar la turbiedad de la cerveza y llenador a contrapresión. La capacidad de producción de la línea completa es de 60 L. Se concluye que el rediseño se encuentra validado mediante el cumplimiento de la norma, donde las pruebas tales como: fisicoquímicos, microbiológicos y organolépticos están dentro de la norma, donde el rediseño del proceso es adecuado para la obtención de un producto de calidad. Finalmente, se recomienda emplear una correcta molienda para poder extraer la máxima cantidad posible de azúcares y sustancias solubles.

Palabras clave: <ERVEZA ARTESANAL>, <REDISEÑO>, <OPTIMIZACIÓN >, <TIEMPO>, <TEMPERATURA>

A handwritten signature in black ink is written over a circular official stamp. The stamp contains text in Spanish, including 'LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES' and 'ESPOCH'. The signature is written in a cursive style.

1367-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The objective of this technical work consisted of redesigning and repowering the Craft Beer Line located in the Industrial Process Laboratory of the ESPOCH, for which a batch of craft beer of 40 L Amber Abbey type was obtained and the respective quality and safety tests were performed based on the INEN 2262:2013 standard for alcoholic beverages, to know the parameters out of standard and control these values. The variables taken into account for the redesign of the line that influence the calculations and sizing of the different stages were identified, which were the dependent variables such as: initial density, Brix degrees, pH and final density. The independent variables identified were: temperature, time and pressure, thus the current baseline situation was analyzed. By means of calculations, the false bottom in the maceration stage and the fermentation tank lid were redesigned as well as the design and implementation of a mill for malt crushing, a boiling kettle, a 20-plate plate cooler to reduce cooling time from 3 hours to 20 minutes, a washable filter to improve beer turbidity and a back-pressure filler. The production capacity of the complete line is 60 L. It is concluded that the redesign is validated through compliance with the standard, where tests such as physicochemical, microbiological and organoleptic tests are within the standard, which means that the redesign of the process is adequate to obtain a quality product. Finally, it is recommended to use a correct milling to extract the maximum possible amount of sugars and soluble substances.

Key words: <CRAFT BEER>, <REDESIGN>, <OPTIMIZATION>, <TIME>, <TEMPERATURE>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la cerveza artesanal ha tenido un crecimiento significativo en el mercado, exigiendo a los productores a realizar modificaciones y mejoras en el proceso de elaboración para obtener un producto de gran calidad.

El presente trabajo se enfoca en el rediseño de la línea de producción de cerveza artesanal del Laboratorio de Procesos Industriales, las etapas que serán rediseñadas e implementadas en la línea de producción serán: molienda, maceración, cocción, fermentación, carbonatación y embotellado siendo estas las más importantes del proceso, ya que de estas dependen la calidad del producto final, teniendo presente las variables a controlar como son: grado alcohólico, pH, grados brix, temperaturas y tiempos, con el fin de optimizar y obtener un proceso hermético, logrando un producto que cumpla con los requisitos de calidad basada en la Norma INEN 2262:2013 para bebidas alcohólicas.

El rediseño de la línea de producción nos dará mayor facilidad y desenvolvimiento en la utilización de los equipos a la hora de la elaboración de la cerveza artesanal, teniendo una mayor eficiencia y mayor capacidad en la línea de producción y por ende mejorando la calidad en la cerveza, ayudando a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. a realizar prácticas e investigaciones en torno a la elaboración de cerveza.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH está conformado por varios equipos que permiten la ejecución de prácticas en las que intervienen: operaciones unitarias, transferencia de masa, calor, entre otras.

Los equipos que componen la línea de producción de cerveza artesanal son: las marmitas para maceración, cocción y enfriamiento, seguido del tanque de fermentación y finalmente el tanque de carbonatación para la adición de CO₂ (Tapia & Valle, 2021, p. 117).

El equipo de maceración consta de un sistema de tuberías, ducha para el lavado de granos, conectado con abrazaderas clamp y una bomba que permite el transporte del mosto. Para su calentamiento se utiliza un quemador industrial de hierro fundido, un termómetro análogo para medir las temperaturas, un falso fondo con filtro de malla metálica y para el enfriamiento se usa un serpentín en la olla de cocción previo al proceso de fermentación (Chalco & Salazar, 2021).

El tanque de fermentación es vertical y fabricado en acero inoxidable, su cabezal tiene forma elipsoidal y su fondo cónico con un ángulo de 60°. Tiene un sistema de agitación manual y el sistema de enfriamiento funciona con un refrigerante y una bomba de ¼ HP, además tiene una capacidad total de producción de 60 litros (Tapia & Valle, 2021, p. 117).

El tanque de carbonatación diseñado es de tipo batch o por lotes, este consta de un sistema de refrigeración con un serpentín interno, dosificación de dióxido de carbono por piedras difusoras con control de temperaturas y presiones (Calva & Venegas, 2021, pp. 25-89).

La producción de cerveza implica ciertos procesos y parámetros que determinan la calidad final del producto, si estos parámetros no son controlados se puede generar un producto que no cumpla con las normas de calidad exigidos, debido a problemas en equipos, procesos y ausencia de técnicas que ayuden a mejorar el rendimiento y calidad de la cerveza.

1.2. Planteamiento del problema

En los últimos años la cerveza artesanal ha tenido un crecimiento significativo en el mercado, motivando así a los pequeños y medianos productores a elaborar bebidas de alta calidad. Para su producción se utilizan cuatro ingredientes básicos que son la malta, agua, lúpulo y levaduras (Vázquez, 2014, p. 1).

El proceso de elaboración está estandarizado en todo el mundo, la mayoría de las cervecerías usan procesos muy similares. El proceso consta de tres pasos principales: Molienda, Maceración / Cocción, Fermentación y Maduración (Ñañez, 2020, pp. 7-38).

Según (Mencia & Perez, 2016, pp. 18-49) mencionan que los tiempos y temperaturas en cada proceso pueden variar dependiendo del estilo y el tipo de materias primas a utilizar. Es importante mencionar que en la industria cervecera se debe controlar la inocuidad de la cerveza ya que es importante cuidar la calidad del producto y la salud del consumidor (Pérez, 2019, pp. 60-130).

En el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias se encuentra la línea de producción de cerveza artesanal; los equipos actualmente realizan la obtención de cerveza. Sin embargo, durante el proceso se presenta inconvenientes a la hora de obtener el producto en las etapas de maceración, cocción, enfriamiento del mosto y fermentación. El presente estudio técnico tendrá como finalidad optimizar el proceso y minimizar los riesgos de contaminación durante su elaboración e inocuidad de la misma.

1.3. Justificación del problema

El mercado de cerveza artesanal en el Ecuador se caracteriza por nacer como pequeños emprendimientos, el apoyo a este mercado es de mucha relevancia puesto que se pone en práctica los conocimientos académicos, sirviendo como pauta para posibles temas de investigación y aportar ideas para optimizar su uso o proponer una óptica diferente de la bebida (Barbery et al., 2018, pp. 1-8).

La cerveza presenta una alta demanda en el mercado, su proceso de fabricación ha venido evolucionando y buscando la necesidad de mejorar las diferentes etapas como: molienda, maceración, hervido, filtración, fermentación, entre otras; si estas etapas no son optimizadas se generará una disminución de variables en la producción, como son tiempo, calidad y cantidad del producto final (Cárdenas & Gualdron, 2019, pp. 30-140).

El cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos identificados en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2262:2013 para bebidas alcohólicas (cerveza), constituye una necesidad indispensable dentro del concepto de gestión de control de calidad (González, 2021, p. 1). Dentro de los procesos industriales, se busca una mejora continua de la calidad, empleando conocimientos de ingeniería, teniendo un control en las variables y parámetros de acuerdo a las necesidades de la línea de producción de cerveza, generando un mayor aporte en la realización de prácticas de laboratorio e investigaciones que pueden surgir a partir de la cerveza como un insumo productivo beneficiando tanto a estudiantes y docentes (Cárdenas & Gualdron, 2019, pp. 30-140).

El presente proyecto técnico de acuerdo a lo explicado anteriormente justifica analizar las etapas del proceso mediante la implementación de ciertos equipos, verificando el estado de cada una de sus operaciones y posibles cambios que ayuden a mejorar el rendimiento del proceso, además de

incorporar técnicas como el Whirlpool para mejorar la obtención del subproducto (mosto más limpio); que servirán para la experimentación y desarrollo de los conocimientos de los estudiantes.

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios directos

El beneficiario directo será el laboratorio de Procesos Industriales perteneciente a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ya que contará con una línea completa para la producción de cerveza artesanal.

1.4.2. Beneficiarios indirectos

Estudiantes, docentes y grupos de investigación puesto que podrán realizar prácticas e investigaciones en torno a la elaboración de la cerveza artesanal.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Rediseñar, repotenciar e implementar la línea de producción de cerveza artesanal existente en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la situación actual de la línea de producción para obtener las variables de rediseño.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el rediseño de la línea de producción para mejorar el rendimiento y eficiencia del proceso.
- Obtener cerveza artesanal que cumpla con los requisitos de calidad basada en la Norma INEN 2262:2013 para bebidas alcohólicas (cerveza).

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

El rediseño se centra en proveer los elementos necesarios para que un equipo o planta entre en operación, siguiendo las condiciones de higiene, protegiendo el producto que se elabora con los materiales indicados para este propósito, además de que los equipos incluyan las facilidades de control y operación (Torres, 2015, pp. 32-41).

En la repotenciación debe considerarse la modificación y adaptación del diseño existente teniendo como objetivo la satisfacción de los nuevos requerimientos, minimizando los cambios en el diseño original y maximizando la utilización de los equipos y dispositivos existentes (Torres, 2015, pp. 32-41).

Referente a este contexto se han realizado varios trabajos similares al tema de estudio:

Villegas, (2013, pp. 30-84) en su trabajo Reingeniería de La Planta de Cerveza Artesanal Cherusker, situada en la ciudad de Quito, realizó un rediseño con el fin de modificar su proceso para satisfacer la demanda generada por el mercado. Se mejoró la calidad de la cerveza y se incrementó la capacidad de producción de la planta en un 50 %, mediante el aumento del tamaño de equipos, mismos que guardan relación con sus especificaciones y condiciones de operación.

Torres, (2015, pp. 22-41) en su trabajo de titulación “Readecuación de la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador para elaborar cerveza Artesanal tipo ALE”, realizó el diagnóstico del estado actual de la planta y determinó las condiciones requeridas para operar. Procedió a realizar los trabajos de readecuación utilizando soldadura especializada e incorporando accesorios calificados para el manejo de productos alimenticio.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Definición de cerveza artesanal*

Es una bebida resultante de la fermentación alcohólica, con levaduras seleccionadas, de un mosto procedente de malta de cebada y otros cereales en grano acompañado con lúpulos, se puede agregar otras materias primas como: especias, flores frutas etc. Cuyo objetivo es conseguir la mayor cantidad de azúcares fermentables. Consta de al menos cinco etapas: maceración, enfriamiento, fermentación y envasado, todo en una misma instalación (Freixes & Punsola, 2015, pp. 7-24).

2.2.2. Tipos de cerveza

Elaborar cervezas artesanales involucra una variedad de aromas, sabores y colores que las hacen ideales para acompañar distintos platillos. En estas bebidas se añaden 4 ingredientes básicos: malta, lúpulo, agua y levadura, cuyo objetivo es conservar sus propiedades como el aroma, sabor, color, brillo, consistencia de espuma y otros (Gómez, 2019, p.1). Según el tipo de levadura se clasifican en:

2.2.2.1. Cervezas de baja fermentación

Se dice que son de fermentación baja porque las levaduras tienden asentarse en el fondo de los depósitos durante la misma. Utiliza la levadura *Saccharomyces Carlsbergensis* que actúa a bajas temperaturas (de 4 a 9 °C). La denominación general para este tipo de cerveza es Lager (Tabla 1-2), su nombre proviene del proceso de almacenamiento al que se someten después de la primera fermentación, donde reposan durante varias semanas o incluso meses (Vozdecatadores, 2020, p. 1).

Tabla 1-2: Tipos de cerveza Lager (fermentación baja)

Tipo	Descripción
Pilsen	Es el tipo de cerveza más popular en el mundo. Con un tono que va del dorado pálido al naranja oscuro y tiene una maduración de 2 meses, su grado alcohólico va de 3 a 3,8 %.
Marzen	Es de color cobrizo y de sabor fuerte, grado alcohólico de 4 %. Tiene una claridad brillante con un sabor ligeramente tostado.
Bock	Es la Lager más oscura y fuerte, tiene tonalidades de color, desde dorado a ámbar, pasando por rojizo hasta café, con un grado alcohólico entre los 6,5 y 7,5 %.

Fuente: (Diferenciador, 2020, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.2.2. Cervezas de alta fermentación

Las cervezas de alta fermentación reciben su nombre por la temperatura a la que funcionan las levaduras involucradas en la fermentación de la cebada malteada. Para estas cervezas se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que actúa a altas temperaturas (de 18 a 25 °C) y tienden a situarse cerca de la superficie, como si flotaran (Vozdecatadores, 2020, p. 1).

Tabla 2-2: Tipos de cerveza Ale (fermentación alta)

Tipo	Descripción
IPA	Se caracteriza por su color cobrizo y su alto contenido de lúpulo que le dan un sabor característico. Además de una alta graduación alcohólica de 5 a 7 %.
Pale Ale	Cerveza rubia, lúpulo aromatizado con especias y notas a frutos secos. Posee un alto contenido alcohólico de 2,5 a 9 %.
Stout	Cerveza oscura con notas malteadas y un alto contenido de alcohol de 7 a 8 %. Son cremosas y muy agradables, con una espuma densa.
Porter	Cerveza oscura con notas a chocolate y cereales tostados con mayor grado alcohólico de 7,5 %.

Fuente: (Diferenciador, 2020, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.3. Materias primas para la elaboración de la cerveza

Las materias primas más importantes de la cerveza artesanal son la malta proveniente de la cebada, el lúpulo, el agua y la levadura. Mediante el uso de diferentes tipos de materias primas, se pueden hacer diferentes sabores de cerveza, las características de estas materias primas influyen en la calidad de los productos fabricados. Así mismo, el conocimiento detallado de sus propiedades constituye la base de su óptimo procesamiento (Ferreyra, 2014, pp. 24-48).

2.2.3.1. Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*) es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las poáceas (gramíneas), se divide en 2 especies: *Hordeum distichum* llamada también cebada cervecera y *Hordeum hexastichon* que se utiliza como forraje. La cebada cervecera posee un porcentaje de 60 % a 65 % de almidón que le da un sabor suave y dulce. Las reservas de almidón del grano se encuentran en el endospermo, estas son usadas para obtener los azúcares que serán fermentados (Berlanga, 2020, pp. 3-10).

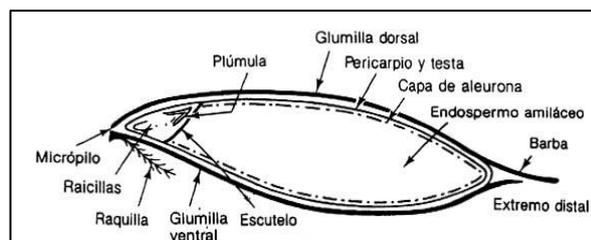


Ilustración 1-2: Estructura del grano de cebada

Fuente: (Solís, 2018, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

La calidad del grano es fundamental para su uso por eso es importante tener en cuenta 2 aspectos importantes:

Tabla 3-2: Características de la cebada

Características físicas	Características Bioquímicas
Un grano grueso y de tamaño uniforme	Buena absorción de agua
Color amarillo claro	Capaz de germinar uniformemente y en un tiempo mínimo, produciendo la mayor cantidad de malta posible por unidad de peso de cebada
Cascarilla fina y rizada	
Libre de microorganismos	

Fuente: (Berlanga, 2020, pp. 3-10).

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

- **Cebada malteada**

Es la cebada que ha sido germinada y sometida al proceso de malteado; es decir a una germinación controlada para activar las enzimas presentes en el grano, y proceder a su tostado que le otorga el color característico (Quintana, 2020, p. 1).

Tabla 4-2: Tipos de maltas más utilizadas

Maltas bases	
Viena	Secado mayor a los 40 °C, presenta un ligero y limpio aroma a nuez y caramelo, aportando a la cerveza un color amarillo dorado o naranja claro.
Munich	La malta Munich es dos veces más oscura que la Viena, tiende a tener un sabor profundo y maltoso, que puede describirse como ligeramente tostado (Secado mayor a 50 °C)
Pilsen	Secado entre 40 °C y 50 °C, tiene sabor dulce de malta y aspecto pálido, se puede encontrar en la mayoría de las formulaciones.
Maltas especiales	
Malta negra (Black Paten)	Utilizado en la elaboración de cervezas negras, es una de las maltas más oscuras que brinda un sabor rostizado con notas de café.
Malta chocolate	Es una malta muy tostada, ofreciendo sabores tostados intensos, con toques a café y cacao.
Caramelo	Es una malta tostada que aporta cuerpo, color rojizo y posee un sabor aromatizado a caramelo.

Fuente: (Kunze, 2006, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.3.2. Agua

El agua es el componente más importante de la cerveza ya que constituye el 90 y 95 %, por lo que la fuente de agua potable debe ser la adecuada para la elaboración de cerveza, es decir debe cumplir con ciertos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para garantizar su utilidad

dentro de la industria alimentaria. La relación de consumo es de 3 a 12 litros de agua por cada litro de cerveza obtenida y depende del tipo de cerveza producida.

Durante la maceración de los granos se añade agua, la calidad de la misma es un factor importante para un buen resultado en este proceso. Si las fuentes de donde proviene el agua son de buena calidad, los costos de tratamiento del agua se minimizan. Además el agua influye directamente en el sabor del producto final y no es raro que dos cervezas tengan distinto sabor si son elaboradas en distintas localidades (Terán, 2015, pp. 33-74).

- **Calidad del agua en la industria de la cerveza**

El efecto del agua en la elaboración de cerveza tiene tres aspectos principales:

- Sus minerales afectan el sabor, cuerpo, apariencia y estabilidad de la cerveza.
- Su pH afecta la maceración, la fermentación y el sabor final de la cerveza.
- Algunos de sus componentes como el hierro y cobre pueden producir un sabor extraño o causar contaminación por la presencia de metales pesados como el plomo y arsénico.

Todos estos parámetros están determinados por la fuente del agua; los cerveceros pueden controlar la calidad de agua deseada mediante análisis de laboratorio y así poder obtener el estilo de cerveza que se quiere elaborar (Cervezanía, 2022, p. 1).

- **Los minerales del agua**

Los minerales de interés para los cerveceros están en forma iónica. Los iones son compuestos con carga positiva o negativa que se disuelven en el agua de la cerveza, los iones con carga positiva se denominan cationes y los con carga negativa se denominan aniones.

Los iones más importantes a controlar en el agua para la elaboración cerveza son los siguientes: calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), sodio (Na^{+1}), bicarbonato (HCO_3^{-1}), carbonato (CO_3^{-2}), sulfato (SO_4^{-2}) y cloruro (C^{-1}).

- El sodio es tóxico para la levadura en exceso; no debe exceder las 100 ppm.
- Los bicarbonatos y carbonatos determinan la alcalinidad del agua. Elevan el pH del mosto y de la cerveza, pueden dar un fuerte sabor amargo.
- Los sulfatos agregan amargor del lúpulo y sequedad de la cerveza aportando una sensación más aguada.
- Los cloruros hacen que la cerveza sea más dulce, lo cual es popular en las cervezas de malta y puede mejorar la estabilidad y claridad de la cerveza
- El calcio agrega sabor, estabilidad y claridad a la cerveza;

- El magnesio afecta el pH; la eficiencia del macerado y es un nutriente para la levadura (Cervezanía, 2022, p. 1).

2.2.3.3. Lúpulo

Se utiliza en las cervecerías por su poder de amargor, el lúpulo se encuentra en la lupulina: que son gránulos de color amarillo que se encuentran en la flor del lúpulo, son ácidos amargos cristalizables que le confieren el poder de la amargura, estos ácidos se oxidan y polimerizan perdiendo fácilmente su poder amargo, estos fenómenos son acelerados por el oxígeno, temperatura y humedad. Es importante que para su conservación estén en lugares adecuados a 0 °C, donde la hidrometría no supere el 70 o 75 % (Carvajal & Insuasti, 2010, pp. 89-170).

Tabla 5-2: Composición química del lúpulo

Elemento	% en peso
Agua	6-12
Alfa ácidos	1,5 – 18
Aceites esenciales	0,5 - 2,5
Aminoácidos	0,1
Pectina	2
Proteínas y carbohidratos	15
Minerales	8 – 10
Celulosa	40 – 50

Fuente: (KOROLUK, 2022, p.2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

El lúpulo es el principal responsable de brindar equilibrio, intensidad y madurez a cualquier tipo de cerveza; además de proteger el producto contra los efectos de los microorganismos y dependiendo de su proporción y tipo otorga a cada clase un sabor y aroma único e incomparable (Arriaca, 2017, p. 1).

Tabla 6-2: Tipos de lúpulo y su utilización en la cerveza

Nombre	Ácidos Alfa (%)	Uso	Estilos de cerveza	Aroma
Amarillo	8 – 9%	Sabor, aroma	IPA, Ale, Bitter, Wheat beer	Floral, cítrico
Apollo	15 – 21%	Amargar	IPA	Cítrico
Brewer's Gold	7 – 8,5 %	Amargar	Ale, Pilsner, Lambic	Frutal, herbal
Bullion	6,5 – 9 %	Amargar	IPA, ESB, Stout, Porter	Herbal
Calypso	12 – 14 %	Aroma, Amargar	Ale, Stout, Barley wine	Manzana, terroso, te, pera
Cascade	4,5 – 7 %	Sabor, Aroma, Amargar	Pale ale, IPA, porter, barley wine	Cítrico, floral
Centennial	8 – 11,5 %	Sabor, Aroma, Amargar	Todos los estilos ale, y se ha usado en cervezas de trigo	Cítrico, floral
Challenger (U.K.)	6,5– 8,5 %	Sabor, Aroma, Amargar	English-style ales, porter, stout, ESB, bitter	Herbal, floral

Fuente: (Janish, 2015, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.3.4. Levadura

Las levaduras son organismos vivos unicelulares, pertenecientes al reino de los hongos; estos microorganismos juegan un papel importante en los procesos de fermentación e incluyen una amplia gama de criaturas “especializadas” en panadería, vinificación, nutrición, usos farmacéuticos, elaboración de cerveza y destilación. (Lezcano, 2012).

En todos los casos, la especie más utilizada es la levadura de cerveza, cuyo nombre científico es *Saccharomyces cerevisiae*, que fermenta el azúcar de los cereales para producir alcohol y dióxido de carbono. Por ello, es muy importante elegir con cuidado el tipo de levadura que se va a utilizar, teniendo en cuenta el tipo y las características de la cerveza que se vayan a elaborar (Lezcano, 2012).

Tabla 7-2: Tipos de levadura según la cerveza deseada

Estilo de cerveza	Levadura Sugerida	Características Organolépticas
IPA	S-04, US-05	Color dorado a ámbar, seca carácter lupulado.
Triple	HA-18, US-05, BE-256, S-33, K-97	Color dorado a ámbar, elevado alcohol, carácter a malta, frutal, buen cuerpo y redondez.
Bitter	S-33, S-04, US-05	Color dorado a ámbar, cuerpo medio y dulzor residual balanceado, con un elevado amargor y carácter a lúpulo.
Ales (Pale/Ámbar/Brown)	S-04, BE-256, US-05	Color dorado a marrón, contenido medio de alcohol. Frutal (ésteres), gusto a malta variable y notas a caramelo y nuez.
Double	HA-19, S-33, S-04, BE-256	Color ámbar a marrón, oscura, elevado alcohol, carácter a malta, frutal y caramelo, redonda.
Scotch	HA-18, S-33, S-04	Color ámbar a marrón, buen cuerpo, carácter a malta y ligeramente lupulada.
Porter	S-04, BE-256, US-05	Color marrón claro a oscuro, con matices rojos. Sabores y aromas a malta tostada, sabores que oscilan entre dulces y amargos, cuerpo medio, ésteres frutales.
Stout	S-33, S-04	Color oscuro, cremosa, cuerpo delicado, chocolate, café, tostado.
Imperial Stout	HA-18, T-58, BE-256, US-05	Color oscuro, elevado alcohol, sensación caliente en boca, café tostado.

Fuente: (Molina, 2023, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.3.5. Clarificante

Son agentes que se utilizan para eliminar los sólidos en suspensión de un líquido provocando la floculación, es decir, los sólidos se asientan en el fondo o flotan en la superficie del líquido para una fácil eliminación (Rojas, 2020, p. 1).

Tabla 8-2: Tipos de clarificantes usados en la cerveza

Clarificantes en caliente	
Tipo	Definición
Irish Moss	Es agregado al mosto en el momento del hervor, aumenta la coagulación de proteínas y ayuda a la formación del turbio caliente. Se debe agregar diluido en agua fría cuando resten 10 minutos para finalizar la hora del hervor.
Whirflock	Su agregado incrementa la coagulación de proteínas y asegura la formación de un turbio caliente compacto, lo que llevará a obtener un mosto más claro. Se recomienda incorporar 10 minutos antes de finalizar el hervor.
Clarificantes en frío	
Tipo	Definición
Polygel	Se usa mucho para adicionar antes de filtrar. Además, sirve como estabilizador de la cerveza.
Gelatina Clarificante	Usada para clarificar la cerveza ya que ayuda a precipitar levaduras. Se agrega en el momento de la maduración. Reduce el tiempo de almacenamiento en frío.

Fuente: (Rojas, 2020, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.4. Elaboración de cerveza artesanal

El proceso consta de las siguientes etapas: molienda, maceración, cocción, enfriado del mosto, fermentación, maduración, carbonatación y envasado, las cuales se describirán brevemente.



Ilustración 2-2: Proceso de elaboración de cerveza artesanal.

Fuente: (Solís, 2018, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.4.1. Molienda

La molienda es una operación de reducción de tamaño muy parecida a la trituración. Los productos que se obtienen son más pequeños y de forma regular. Generalmente cuando se habla de molienda se hace referencia a partículas de tamaños inferiores a 1" siendo el grado de desintegración mayor (Pérez, 2019, pp. 60-130).

La molienda de maltas tiene el propósito de romper el grano de preferencia de manera longitudinal y separarlo de su endospermo. Al mismo tiempo que separamos el endospermo, también lo desintegramos para que pueda estar expuesto para el proceso enzimático al que se expondrá durante la maceración (Calderoni, 2012, p. 2).

2.2.4.2. Maceración

El proceso de maceración implica la extracción de compuestos de un producto sólido sumergiéndolo en un líquido durante un cierto período de tiempo. El líquido más común que se usa es el agua (Calderoni, 2012, p. 2).

La maceración de la cerveza consiste en la adición agua caliente a la malta previamente molida para gelatinizar los almidones y extraer las enzimas naturales de la malta que convierten los almidones en azúcares fermentables. Dentro de la maceración, se utilizan diferentes rangos de temperatura, cada rango activa y desactiva diferentes enzimas (Calderoni, 2013, p. 1).

2.2.4.3. Cocción

Este es el proceso donde se eliminan todos los microorganismos que no se desean para evitar contaminación y es aquí en donde se añade el lúpulo que aporta diferentes cualidades sensoriales a la cerveza como: amargor, sabor y aroma. La temperatura con la que es llevado este proceso está entre los 80 y 90 °C por 90 minutos (Enciso, 2021, pp. 22-100).

2.2.4.4. Enfriamiento

En esta etapa el mosto es enfriado con la finalidad bajar la temperatura hasta los 25 °C y agregar la levadura que será la encargada de transformar los azúcares de la malta en etanol y dióxido de carbono; de estar a una temperatura alta (mayor a 30 °C) puede ser inhibido y no producir el alcohol esperado (Enciso, 2021, pp. 22-100).

- **Importancia de reducir el tiempo de enfriamiento**

Reducir el riesgo de contaminación por bacterias y levaduras no deseadas. La temperatura del mosto debe estar a menos de 30 °C para que las levaduras realicen su trabajo, si añadimos cuando el mosto está demasiado caliente, estas morirán.

- Ayudar a la eliminación de la proteína de la cebada que flota en el mosto y que puede causar turbiedad en nuestra bebida.
- Conservar el aroma y reducir el amargor generado por los lúpulos (Baradero, 2019, p. 2).

- **Sistemas de enfriamiento del mosto**

Baño maría inverso: Es un método casero que funciona para pequeñas cantidades de cerveza, se trata se sumergir la olla del mosto en agua fría o con hielo (Baradero, 2019, p. 2).

- **Serpentín**



Ilustración 3-2: Serpentin en forma de espiral.

Fuente: (Baradero, 2019, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Es un tubo metálico este puede ser de acero o cobre, doblado en forma de espiral por el que va a circula agua fría; dicho serpentín está unida a una manguera de plástico que debe conectarse al grifo de agua y una de salida para el desagüe. Este método de enfriar el mosto es muy económico, su principal inconveniente es que el enfriamiento se realiza de forma lenta y genera un desperdicio del agua (Baradero, 2019, p. 2).

- **Por placas**



Ilustración 4-2: Intercambiador de calor por placas.

Fuente: (Baradero, 2019, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Es una unidad que transfiere calor continuamente de un medio a otro sin agregar energía al proceso. El concepto básico de un intercambiador de calor de placas es que 2 líquidos que fluyen a ambos lados de una placa delgada de metal corrugado para que el calor pueda transferirse

fácilmente, con este método se tiene control sobre la temperatura final del mosto y es un método eficiente por el rápido enfriamiento del mosto (Baradero, 2019, p. 2).

- **Doble serpentín o serpentín a contracorriente**



Ilustración 5-2: Serpentín a contracorriente.

Fuente: (Baradero, 2019, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Es un dispositivo similar al anterior, este consta de 2 tubos de diámetro distinto, uno dentro del otro y con forma de serpentín para ahorrar espacio. Se hacen circular agua fría y mosto a contracorriente y el enfriado es también muy rápido. (Baradero, 2019, p. 2)

2.2.4.5. Fermentación

La fermentación alcohólica es el proceso en el cual los microorganismos metabolizan los azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono en condiciones ausentes de oxígeno, es decir es un proceso es un proceso completamente anaeróbico; microorganismos empleados son levaduras cuyo nombre científico es *Saccharomyces cerevisiae* (Álvarez, 2018, p. 79).

El tiempo de fermentación dependerá del estilo y del contenido de alcohol de la cerveza final .La temperatura más adecuada para la fermentación alcohólica es de 18 °C a 25 °C (Álvarez, 2018, p. 79).

2.2.4.6. Maduración

También llamada como fermentación secundaria, es el período posterior a la fermentación primaria, durante el cual la cerveza se mantiene en reposo, a temperaturas bajas (de 0°C a 4°C), con el fin de mejorar sus condiciones organolépticas antes de ser consumida.

En esta fase, la levadura reduce lentamente los fermentables que generan CO₂, lo que suma carbonatación a la cerveza y elimina algunos subproductos de fermentación nocivos como el diacetilo, 2,3-pentanodiona, acetaldehído, entre otros. La maduración debe cumplir tres objetivos principales: sabor, clarificación y carbonatación (Álvarez, 2018, p. 79).

2.2.4.7. Carbonatación

La carbonatación de la cerveza consiste en la disolución de dióxido de carbono en forma de gas en la cerveza, en este proceso intervienen factores como la temperatura del líquido y la presión dentro del contenedor, pudiendo llevarse a cabo en un barril o directamente en la botella (Quezada & Valencia, 2021, pp. 1-79).

Tabla 9-2: Niveles de carbonatación dependiendo del estilo

Estilo de cerveza	Volumenes de CO2
Ales británicas	1.5 – 2.0
Porter, stout	1.7 – 2.3
Ales belgas	1.9 – 2.4
Lager europea	2.2 – 2.7
Ales y lager americanas	2.2 – 2.7
Lambic	2.4 – 2.8
Lambic de frutas	3.0 – 4.5
Cerveza de trigo alemana	3.3 – 4.5

Fuente: (checerveza, 2019, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

2.2.4.8. Envasado

Para realizar este proceso se utiliza un llenador de botellas a contra presión, su función es verter el líquido suavemente evitando airearlas demasiado. La cerveza es envasada en botellas de vidrio ámbar para evitar los procesos de oxidación durante su maduración, que conducirían al oscurecimiento del producto.

2.2.5. Equipos para la producción de cerveza artesanal

2.2.5.1. Molino de rodillos



Ilustración 6-2: Molido de dos rodillos para malta

Fuente:(POLISINELLI, 2022, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Los molinos de rodillos están especialmente diseñados para triturar la cebada, respetando la cáscara o envoltura y provocando el quebrado del interior. La malta es comprimida entre dos cilindros evitando destruir lo menos posible la cáscara, ya que esta servirá como lecho filtrante en la operación de filtración del mosto (Zecchin, 2018, p. 1).

2.2.5.2. Olla de hervido

Se utiliza para calentar el agua en varios puntos del proceso de preparación a una determinada temperatura objetivo, dependiendo de la receta a elaborar (Maltosaa, 2020, p. 2).

2.2.5.3. Olla de maceración

En esta olla, el grano se mezcla con agua aproximadamente a 65,5 °C para convertir los almidones en azúcar. La parte inferior tienen un falso fondo de metal que le permite drenar el mosto una vez finalizado el proceso, filtrando el grano al mismo tiempo (Maltosaa, 2020, p. 2).

2.2.5.4. Olla de cocción

Aquí se llevará a cabo la cocción del mosto, haciéndolo hervir durante largos periodos de tiempo y dejando que se evapore el agua para que se liberen los compuestos que se puedan generar sabores no deseados en la cerveza (Maltosaa, 2020, p. 2).

2.2.5.5. Fermentador



Ilustración 7-2: Tanque de fermentación.

Fuente: (Maltosaa, 2020, p. 2).

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Es un tanque diseñado para controlar la temperatura y mantener condiciones óptimas para que las levaduras lleven a cabo el proceso de fermentación, una vez que el mosto ha sido transferido

desde el recipiente de cocción al fermentador. Un diseño de fondo cónico es recomendado para los fermentadores, permitiendo una recolección más fácil de la levadura (PKW, 2019, pp. 1).

2.2.5.6. Carbonatador



Ilustración 8-2: Equipo de gasificación

Fuente: (Thehomebrewer, 2019, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

También llamado tanque de acondicionamiento, este es el equipo utilizado para saturar de CO₂ a una bebida, este equipo consta de chaquetas para controlar la temperatura de la cerveza, válvulas de alivio, manómetros, sensores de flujo y temperatura, un difusor o piedra de carbonatación, un puerto de llenado ubicado en uno de los costados del tanque y un orificio de drenaje inferior. (Mosher & Trantham, 2017, pp. 35-61).

2.2.5.7. Llenador de botellas a contra presión



Ilustración 9-2: Llenador de botellas a contra presión de dos vías.

Fuente: (Leva, 2018)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Las llenadoras a contrapresión funcionan manteniendo una presión constante de gas de dióxido de carbono en la cerveza durante el embotellado. Las botellas y bebidas a menudo se enfrían para reducir la formación de espuma causada por las diferencias de temperatura. Primero, la botella se

presuriza con CO₂, se abre la válvula de llenado y se expulsa el CO₂ para que la botella se pueda llenar desde el fondo (Leva, 2018).

2.2.6. Accesorios utilizados para la producción de cerveza artesanal

2.2.6.1. Tubería de acero inoxidable



Ilustración 10-2: Tubería de acero inoxidable.

Fuente: (Octal, 2018, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

La tubería de acero inoxidable es un tipo de acero hueco y de longitud, tiene resistencia mecánica, ácido, gas alcalino, solución y otros medios de corrosión, gravedad específica de 7,93 g/cm³; También conocido en la industria como acero inoxidable 18/8, lo que significa que contiene más del 18 % de cromo y más del 8 % de níquel. Resistencia a altas temperaturas, tiene las características de buen rendimiento de procesamiento, alta dureza, ampliamente utilizado en la industria alimentaria (Octal, 2018, p. 1).

- Material: Acero inoxidable 304
- Temperatura máxima: 800 °C
- Diámetro exterior: 5,8 a 508 mm
- Espesor de pared: 0,3 a 50 mm

2.2.6.2. Uniones Clamp



Ilustración 11-2: Abrazadera clamp de un solo perno con empaque.

Fuente: (Granada, 2020, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Este tipo de abrazaderas sanitarias de acero inoxidable nos permitirán montarlos en tubería sanitaria grado alimenticio de una manera muy sencilla y permitirá desmontar equipos, tuberías, bombas, válvulas y otro tipo de conexiones que estén presentes en un sistema (Granada, 2020, p. 1).

- Material: Acero inoxidable AISI 304.
- Medidas disponibles: 1", 1.5", 2", 2.5", 3", 4", 6", 8" y 10"
- Aspecto sanitario
- Alta resistencia a corrosión y cambios de temperaturas
- Soporta altas presiones

2.2.6.3. Válvulas de bola



Ilustración 12-2: Válvula de bola.

Fuente: (KLINGER, 2016)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Utilizado para el control manual de fluidos, su esfera permite regular y controlar diferentes caudales, se abre girando el eje unido a la esfera, de manera que permita el paso del fluido cuando la perforación está alineada con la entrada y salida de la válvula, la posición de la palanca de accionamiento indica el estado de la válvula, abierta o cerrada (Klinger, 2016).

- Material: Acero inoxidable 304
- Temperatura: -20 °C a 180 °C
- Presión máxima: 1000 PSI
- Tamaño de rosca: 1/4", 3/8", 1", 1-1/4", 1-1/2"

2.2.6.4. Termómetro



Ilustración 13-2: Termómetro análogo.

Fuente: (Maltosaa, 2018, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

El termómetro de olla es ideal para la ebullición del agua, producción del mosto, la levadura en el proceso de fermentación y otros usos tiene una cara de 2 pulgadas con escala en grados centígrados y una caratula fija de fácil instalación sin soldadura con soda de 9 pulgadas de largo en un ángulo de aproximadamente 45° dentro de la olla (Maltosaa, 2018, p. 2).

- Material: Acero inoxidable 304
- Gran exactitud en la medición de la temperatura
- Alta precisión
- Sin pilas ni baterías

2.2.6.5. Quemador industrial



Ilustración 14-2: Quemador industrial de acero fundido.

Fuente: (CICSA, 2022, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Los quemadores industriales utilizan gas y aire para lograr la combustión, los dos entran por separado en proporciones adecuadas para iniciar el proceso (CICSA, 2022, p. 1).

2.2.6.6. Bomba centrífuga



Ilustración 15-2: Bomba centrífuga.

Fuente: (Aguirre, 2023, p. 2)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Las bombas centrífugas constan de varios elementos que convierten la energía cinética en energía hidráulica para producir una presión continua; Las bombas centrífugas aumentan la velocidad de los fluidos para que puedan ser transportados a largas distancias. Las bombas centrífugas son la clase de bombas más utilizadas en la industria debido a sus características, ya que generalmente se utilizan para bombear líquidos viscosos (Fluideco, 2023, p. 1).

2.2.6.7. Tanque de CO₂



Ilustración 16-2: Tanque de CO₂ para la industria alimentaria

Fuente: (Infrasal, 2023, p. 1).

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

En condiciones normales el Dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, con sabor levemente picante, existe en la atmósfera en concentraciones bajas, entre 0.03 y 0.06% en volumen (Infrasal, 2023, p. 1).

- **Uso industrial**

- Carbonatación de aguas minerales, bebidas etc.
- Protección de vinos, cervezas y jugos de frutas contra la oxidación por la exposición al aire
- En enlatado de productos.

2.2.6.8. *Airlock*



Figura 18-2: Airlock en forma de S.

Fuente: (Maltosaa, 2019, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Es un dispositivo conocido como trampa de aire, puede ser de vidrio o plástico, sirve para evitar la contaminación y oxidación de la cerveza; antes de colocarse en el fermentador debe llenarse de alcohol y agua (Maltosaa, 2019, p. 1)

2.2.7. *Normas utilizadas para el diseño de los equipos*

La construcción de equipos industriales se rige a diversas Normas que son diseñadas por distintas organizaciones, donde se debe seleccionar un método de fabricación, teniendo en cuenta ciertas consideraciones como la selección del material, el tipo de soldadura, entre otros. Gracias a estas Normas, las empresas pueden fabricar productos de mejor calidad y brindar servicios más eficientes, además de asegurar la equidad en las empresas y promover la aceptación de las buenas prácticas en la industria.

Entre las organizaciones que nos facilitan las normas de construcción de equipos para la producción de cerveza se tiene:

2.2.7.1. API (American Petroleum Institute)

Los equipos bajo estándares API son ampliamente utilizados en diferentes industrias desde la petrolera hasta la alimentaria, estas normas mejoran la seguridad en las actividades de producción, garantizan la calidad, ayudan a reducir los costos y reducen el desperdicio del material. (API, 2018, p. 1)

2.2.7.2. ASME (American Society of Mechanical Engineers)

Es una asociación de profesionales que ha desarrollado reglas para el diseño, construcción, inspección y prueba de equipos, incluyendo calderas y recipientes a presión (ASME, 2022, p. 1).

Con respecto a tanques de almacenamiento se basa en la Norma API 650-2017 ya que nos proporcionan los requisitos mínimos de diseño, fabricación, instalación y materiales para tanques cilíndricos verticales no refrigerados, esta norma se aplica a todos los tanques que almacenan fluidos a una presión atmosférica inferior a 18 KPa y temperaturas que no excedan los 93 °C (ASME, 2022, p. 1).

2.2.8. Selección del material de construcción

El material seleccionado para la construcción de los diferentes equipos es el acero inoxidable AISI 304L, que por excelencia es el material idóneo en la industria alimentaria y junto con su bajo precio es el material más atractivo para la construcción de equipos (Octal, 2018, p. 1).

El acero inoxidable AISI 304 es el material más común en los aceros inoxidables. Debido a que el acero inoxidable 304 contiene 18% de cromo (Cr) y 8% de níquel (Ni), también se conoce como acero inoxidable 18/8. Tiene buena resistencia a la corrosión, calor, baja temperatura, propiedades mecánicas, buena trabajabilidad en caliente, como estampado, doblado y ningún endurecimiento por tratamiento térmico (Octal, 2018, p.1).

2.2.9. Calidad e inocuidad en la cerveza

La calidad de la cerveza suele evaluarse en función de sus características organolépticas; el análisis sensorial es el examen de las propiedades de la cerveza a través de los sentidos (vista, olfato, gusto y tacto) para obtener datos cuantificables y objetivos. Los perfiles sensoriales son variables y definen los estilos generales de la cerveza e impulsan las tendencias de los consumidores (Castro, 2018, pp. 15-65).

Las características sensoriales de la cerveza se pueden dividir en aquellas relacionadas con la apariencia, que incluyen color, transparencia, formación de espuma y burbujas; las que

representan el sabor de la cerveza, que se refiere al aroma, gusto y sensación en boca. Cada uno de estos aspectos varía dependiendo del estilo de cerveza (Castro, 2018, pp. 15-65).

2.2.9.1. Apariencia

- Color: los matices van del amarillo pajizo a negro oscuro, pasando por tonalidades rojizas y marrones, dependiendo del estilo.

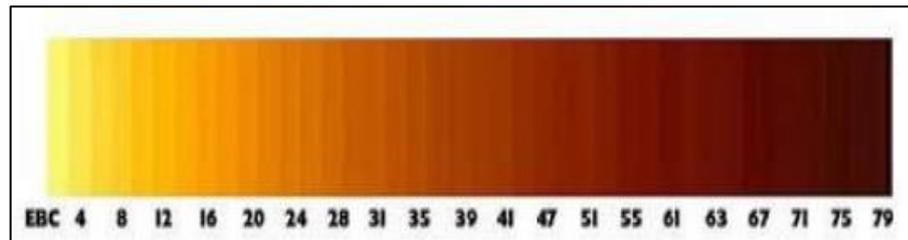


Ilustración 17-2: Escala de colores de la European Brewr Convention.

Fuente: (EBC, 2022, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

- Turbidez: Se puede definir como transparente u opaco, Según el estilo y la presencia o ausencia de partículas en suspensión.
- Espuma: Se observa el color y la persistencia, lo cual varía con el estilo.
- Carbonatación: Se mide en volúmenes de CO₂, y puede ser distinto con el estilo de cerveza a elaborar.

2.2.9.2. Sabor

Este parámetro depende de elementos volátiles percibidos por nariz y boca, además, se incluye la sensación en boca que se refiere a la sensación de plenitud (cuerpo), cremosidad, calentamiento, carbonatación y astringencia que produce la cerveza en la boca.

2.2.9.3. Inocuidad en la cerveza

Un pequeño error en los procedimientos de higiene en la industria de la cerveza artesanal no solo puede afectar a la inocuidad de la misma, sino también puede provocar cambios en el sabor, olor, acidez, grado alcohólico entre otras, perdiendo así las propiedades sensoriales característicos de la cerveza (Pérez, 2019, pp. 60-130).

- **Parámetros fisicoquímicos**

Tabla 10-2: Parámetro fisicoquímicos a considerar en la cerveza artesanal

Parámetro	Definición
Grado alcohólico	Se establece por porcentaje de azúcares fermentables presentes en el mosto, determina el límite de atenuación o el alcohol que tendrá la cerveza final.
Acidez expresada como ácido Láctico	Su presencia en la cerveza casi siempre es el resultado de fermentación con bacterias ácido-láctico introducidas al mosto a propósito (cerveza ácida) o sin intención (infección).
pH	Es un parámetro fundamental en el proceso de fermentación, debido al control que tiene frente a la contaminación bacteriana, así como el crecimiento de las levaduras
Carbonatación	Expresa la cantidad de dióxido de carbono que se ha disuelto en la cerveza
Densidad	Nos indica segura de forma directa la cantidad de azúcares que hay en nuestra cerveza o en el mosto
Grados Brix	Mide la concentración de azúcares dentro del líquido y al igual que la gravedad se usa una medición inicial y final para medir el alcohol.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

- **Parámetros microbiológicos**

Tabla 11-2: Parámetros microbiológicos en la cerveza artesanal

Parámetros	Descripción
Mohos	No constituyen contaminantes directos de la cerveza. Los metabolitos que se producen durante su crecimiento pueden ser fuentes de sabores desagradables de fondo y provocar la rápida evolución de dióxido de carbono al disminuir la presión.
Levaduras	Estas son responsables del exceso de gas y turbidez.
Anaerobios mesófilos	Constituye un grupo cuya propiedad esencial es la de no poder multiplicarse en presencia de oxígeno, ejerciendo este oxígeno sobre él una acción bactericida.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planificación

3.1.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación es de tipo técnico y tiene como finalidad el rediseño, repotenciación e implementación de la línea de producción, el cual se realizará por el método experimental, permitiendo obtener una línea completa y mejorada para obtención de cerveza artesanal.

3.1.2. Métodos

3.1.2.1. Método experimental

El método experimental permitirá manipular intencionalmente una o más variables independientes para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (Sampieri et al., 2014, pp. 9-14). Para el rediseño de la línea e implementación de los equipos se tomarán en cuenta las variables involucradas en cada una de las etapas de la elaboración de la cerveza; por tal razón se obtendrá un lote de producción de 40 Litros de cerveza tipo Abadía Ámbar. Con los datos se procederá a realizar el dimensionamiento de los diferentes equipos y cambios sugeridos para optimizar la línea de producción.

3.1.2.2. Método cuantitativo

Utiliza la recolección de datos para comprobar la diferencia del antes y después de la línea de producción de cerveza artesanal, utilizando un análisis matemático y estadístico con el fin establecer pautas de comportamiento, probar teorías y localizar las causas de los problemas a la hora de elaborar el producto.

3.1.3. Lugar de estudio

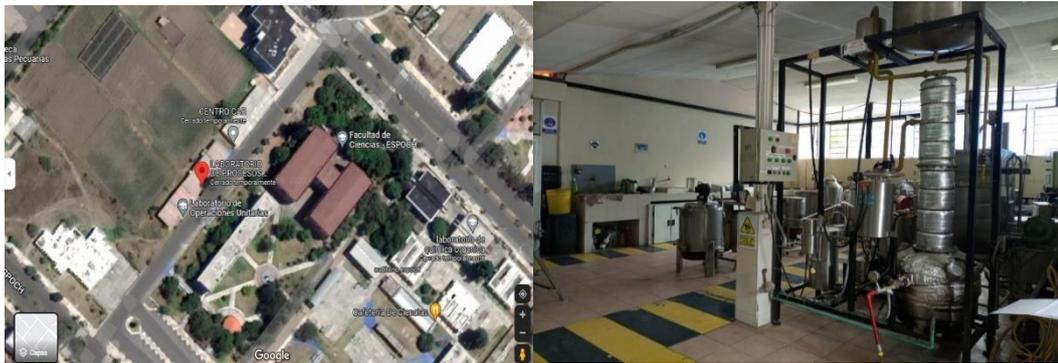


Ilustración 18-3: Ubicación del laboratorio de procesos industriales

Fuente: (Google Maps 2023)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

El presente estudio técnico se realizará en la línea de producción de cerveza artesanal ubicada en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde es necesario realizar un análisis de la línea base para la elaboración de cerveza.

3.1.4. Técnicas para determinar la calidad de la cerveza

Una vez que se obtenga los lotes de producción de la línea base y de la línea repotenciada será necesario realizar controles de calidad a nivel de laboratorio basadas en la Norma Técnica INEN 2262:2013 y así cumplir con los objetivos planteados y validar el rediseño de la planta, para ello se utilizará técnicas experimentales que se muestran a continuación:

Tabla 12-3: Determinación de pH

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
pH	NTE INEN 2325	Agua destilada Solución reguladora de pH 4 y 7	Potenciómetro con electrodos de vidrio, vaso de precipitación de 250 ml, agitador, termómetro, muestra.
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro Colocar en el vaso de precipitación 100 ml de la muestra de cerveza desgasificada y temperatura de ensayo. Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso con la muestra. 			

Fuente: (INEN 2325:2002)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 13-3: Determinación de grados Brix

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
Grados Brix	NTE INEN 380	Muestra Agua destilada	Refractómetro, vaso de precipitación de 50 ml, embudo de Buchner para filtración.
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar la circulación de agua del refractómetro para operar a la temperatura requerida. • Colocar 2 o 3 gotas de la muestra en el prisma fijo del refractómetro y ajustar inmediatamente el prisma móvil. • Leer el valor del índice de refracción o el porcentaje en masa de sacarosa, según el instrumento que se haya utilizado. 			

Fuente: (INEN 380)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 14-3: Determinación de la densidad

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
Densidad	NTE INEN 349	Líquido problema Agua destilada	Picnómetro Balanza analítica Termómetro Embudo
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> • Lavar el picnómetro con agua corriente, y posteriormente con agua destilada, secarlo mediante una corriente de aire seco. • Pesar el picnómetro limpio y seco con aproximación al 0,1 mg. • Colocar la muestra en el picnómetro hasta la marca respectiva, evitando la formación de burbujas de aire y tapar. • Posteriormente pesar el picnómetro vacío y con agua destilada. 			

Fuente: (INEN 349)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 15-3: Determinación de acidez total (expresado como ácido láctico)

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
Acidez	NTE INEN 2323	Solución buffer Na (OH) 0,1 N	Potenciómetro, vaso de precipitación de 50 cm ³ Agitador apropiado movido eléctricamente Bureta Pipeta de 50 cm ³ Termómetro
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> • Estandarizar el potenciómetro a un pH 7 con solución buffer • Lavar los electrodos con agua destilada, hasta que quede libre de solución buffer • Pipetear 50 cm³ o alguna otra cantidad medida de cerveza desgasificada • Introducir los electrodos de vidrio y calomel, y el agitador magnético dentro de la cerveza, empezar agitar y ajustar la temperatura a 20 °C • Titular la cerveza con NaOH 0,1 N llevar a pH 8,2 añadiendo álcali en cantidades 1,5 cm³ hasta un pH 7,6. Luego en incrementos más pequeños de 0,15 cm³ hasta que alcance exactamente un pH de 8,2. 			

Fuente: (INEN 2323)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 16-3: Determinación de alcohol

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
Grado alcohólico	NTE INEN 2322	Líquido problema	Balón de destilación de 500 cm ³ de capacidad, trampa de arrastre que conecta el balón de destilación, condensador vertical, balón volumétrico de 100 cm ³ , pipeta volumétrica de 100 cm ³ , pipeta de transferencia de 100 cm.
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> • Pipetear 100 cm³ de cerveza desgasificada a 20 °C, colocar en el balón de destilación y añadir 50 cm³. • Conectar el balón al equipo de destilación y disponer de un balón volumétrico de 100 cm³ para recibir el destilado, • El balón empleado como recolector se rodea con hielo • La temperatura del agua de refrigeración que sale por el condensador no debe ser superior a 25 °C. • Destilar alrededor de 96 cm³ a una velocidad uniforme y en un tiempo de 40 y 60 minutos. • Ajustar la temperatura a 20 °C y completar el volumen con agua destilada. • Determinar la gravedad específica a 20 °C. 			

Fuente: (INEN 2322)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 17-3: Determinación de microorganismos aerobios

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
Microorganismos aerobios	NTE INEN 1529-5	Muestra	Incubadora, Refrigerada Microscopio, Balanza, Mechero Gradilla, Tubos de ensayo Probetas, Pipetas bacteriológicas Caja Petri, Erlenmeyer
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> Cubrir la siembra con una capa de vaselina líquida estéril de 1cm de espeso Incubar entre 30 °C y 35 °C por 24 a 72 horas Recuento: Elegir los tubos de dilución que contengan 30 ± 10 colonias, cortarlas y calcular el número de UFC por gramo de alimento. 			

Fuente: (INEN 1529-5)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 18-3: Determinación de mohos y levaduras

Parámetro	Norma	Reactivos	Materiales
Mohos y levaduras	NTE INEN 1529-10	Líquido problema	Placas Petri Pipetas serológicas de boca ancha de 15 cm ³ y 10 cm ³ graduadas en 1/10 unidad Esparcidores Medios de cultivo (agar sal-levaduras de Davis o similar)
Procedimiento			
<ul style="list-style-type: none"> Cubrir la siembra con una capa de vaselina líquida estéril de 1cm de espeso Incubar entre 30 °C y 35 °C por 24 a 72 horas Recuento <p>Elegir los tubos de dilución que contengan 30 ± 10 colonias, cortarlas y calcular el número de UFC por gramo de alimento.</p>			

Fuente: (INEN 1529-10)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.2. Experimentación

3.2.1. Equipos, materiales y materias primas empleados durante el proceso

Para obtener las variables de rediseño es necesario producir un lote de cerveza de 40 L que es la capacidad actual de la planta de forma experimental, utilizando los equipos existentes en la línea base, además de materias primas e insumos que se mencionan a continuación:

Tabla 19-3: Equipos, materiales y materias primas

Equipos	Materiales	Materias primas
Olla de maceración	Densímetro	Cebada
Olla de hervido	Termómetro	Lúpulo
Bomba centrifuga	Balanza Analítica	Levadura cervecera (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)
Serpentín	Colador	Agua
Fermentador	Airlock	Clarificante
Carbonatador	Cepillo para limpieza de tuberías	CO ₂
Tanque de CO ₂	Probeta	

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 20-3: Definición de las materias primas utilizadas durante la experimentación

Materias primas	Descripción
Malta pilsen	Es de color muy claro, tiene el sabor dulce de malta y es una malta base.
Malta Munich	Da un color ámbar a la cerveza con aroma y sabor a nuez y malta.
Malta Cara Ruby	Tiene un aroma dulce de caramelo y un sabor parecido al toffee, además de color ámbar claro a rojizo.
Lúpulo Saaz	Posee delicado aroma y amargor con notas herbales y florales.
Lúpulo Halletauer	Se caracteriza por tener romas intensos con toques florales especiados y cítricos incomparables.
Levadura Safale S-33	Utilizada para fermentación alta y aporta un sabor intenso.
Clarificante	Ayuda a obtener una cerveza limpia, cristalina y libre de impurezas.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.2.2. Descripción de los procesos existentes en la línea base

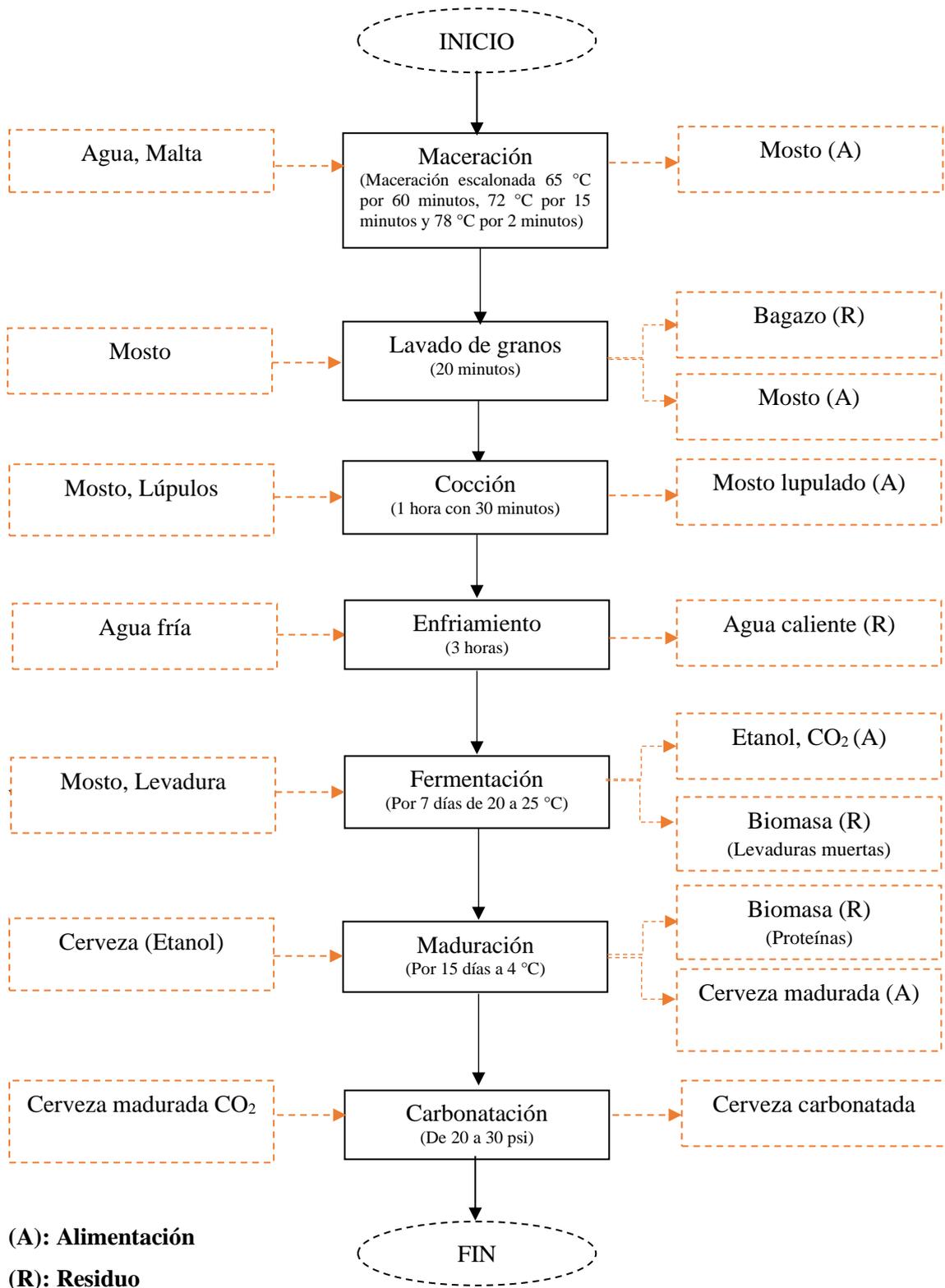


Ilustración 19-3: Diagrama de flujo de la línea base.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.2.2.1. Maceración

La maceración se realizó con 3 kg de agua por cada kg de malta molida; el proceso fue de forma escalonada de la siguiente manera:

- Se maceró a 65 °C dejando reposar por 60 minutos.
- Luego se aumentó la temperatura hasta los 72 °C reposando por 15 minutos.
- Por último, se subió la temperatura hasta los 78 °C por 2 minutos adicionales.

3.2.2.2. Lavado de granos

Una vez terminada la maceración se procedió a realizar el primer filtrado con la finalidad de extraer la mayor cantidad de azúcares fermentables; para lo cual se añadió 16 kg de agua (40 % del total del empaste) a 75 °C después de haber hecho el recirculado y separar el extracto del mosto.

3.2.2.3. Cocción

El mosto obtenido se llevó a cocción de forma vigorosa por 90 minutos, con la finalidad de eliminar microorganismos que puedan existir en el extracto y conseguir esterilizar el mosto, además se adicionó los lúpulos y el clarificante que nos ayudará a aportar sabor, amargor y aroma a la cerveza.

3.2.2.4. Enfriamiento

Una vez que se cumplió con el tiempo de ebullición se procedió a enfriar el mosto en el menor tiempo posible de 20 a 30 minutos para evitar que se contamine. Se debe enfriar hasta que la temperatura sea adecuada para la adición de la levadura, es decir en un rango de 20 a 25 °C.

3.2.2.5. Fermentación

Se traspasó el mosto al fermentador y se agregó la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), 0,0115 kg por cada 40 kg de mosto, y se procedió a sellar herméticamente la tapa del fermentador y colocar el Airlock con agua y alcohol industrial en una proporción 1 a 1, dejando reposar por 7 días a una temperatura de 20 a 25 °C

3.2.2.6. Maduración

Concluida la fermentación, se eliminaron los sedimentos generados durante este proceso y se procede a madurar la cerveza en el mismo tanque de fermentación ya que es necesario precipitar polifenoles, proteínas y residuos de levadura que enturbian la cerveza; esto se logra bajando la temperatura a 4 °C por 15 días.

3.2.2.7. Carbonatación

Para este proceso se estableció la presión de carbonatación en un valor fijo, para ello se recomienda cualquier valor en el rango de 20 a 30 Psi; al llegar a un nivel de carbonatación de 2,2 a 3,5 % Vol. establecido en la Norma Técnica INEN 2262 se termina el proceso y se procede a envasar.

3.2.3. Variables del proceso

Tabla 21-3: Determinación de los parámetros y variables del proceso

Etapa	Tipo de variable	
	Independiente:	Dependiente:
Maceración	Temperatura Entre 63 °C a 70 °C	Densidad inicial Entre 1.055 g/ml y 1.060 g/ml
	Tiempo En la maceración es de 90 minutos, y para la cocción 60 minutos.	pH Para su actividad entre 5,2 a 5,5.
Fermentación	Tiempo 7 días para que los azúcares fermentables se convierten en alcohol y CO ₂ .	Grados Brix Depende de la densidad inicial
	Temperatura De 20 a 25 °C si no se encuentra dentro del rango se puede presentar una inhibición o muerte de las levaduras.	Densidad final Entre 1,010 g/ml a 1,015 g/ml.
Carbonatación	Temperatura De 2 a 4 °C, a menor temperatura del líquido se disuelve mejor el gas.	
	Presión De 5 a 10 Psi, a mayor presión se disuelve mejor el gas en el líquido.	

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.2.4. Situación actual de la línea de producción

- La línea base de producción no cuenta con la etapa de molienda, por lo que es necesario comprar la malta ya molida, haciendo que el proceso sea más costoso; además de no obtener un tamaño de partícula deseado, lo que influye en la extracción de azúcares fermentables, afectando la densidad y por ende el contenido alcohólico en la cerveza.
- No cuenta con una olla de hervido, atrasando el tiempo en las etapas de maceración, cocción del mosto y un mal proceso de recirculado y lavado de granos.
- Se obtiene cervezas turbias al no contar con un proceso de filtración que ayude a sedimentar las partículas en suspensión que se encuentran presentes en el mosto.
- El tiempo de enfriamiento ocurre en un periodo de 2 a 3 horas, lo que hace que el producto este más propenso a contaminación por agentes externos (microorganismos presentes en el ambiente); así también retardar este proceso ocasiona la combinación de proteínas y polifenoles presentes en el mosto provocando turbiedad en la cerveza y disminuyendo por tanto la calidad de la misma.

Estos inconvenientes nos permitieron conocer la situación actual de la línea para buscar soluciones que nos ayuden en el rediseño, repotenciación e implementación de la misma.

3.3. Balances de masa y energía de la línea base

Una vez conocidos los inconvenientes que presenta la línea base y haber elaborado el lote de cerveza, se procede a realizar los balances de masa y energía para determinar las eficiencias y rendimientos de los equipos y así lograr determinar las etapas a optimizar y los equipos a implementar, mismos que mejorarán la producción de la cerveza artesanal. Con lo mencionado anteriormente se conseguirá rediseñar e implementar nuevos equipos para completar la línea base.

3.3.1. Balance de masa de la línea base

Tabla 22-3: Datos conocidos para realizar el balance de materia

<i>Cerveza Abadía Ámbar</i>		
VARIABLES CONOCIDAS		
Variable	Cantidad	Unidades
Malta	10	kg
Levadura	0,023	kg
Lúpulo	0,002	kg
Grados plato (antes de la cocción)	12,5	

Densidad inicial	1,050	g/ml
Dióxido de carbono	0,26	kg
Dióxido de Carbono (CO ₂) a la atmósfera	0,005	kg

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.3.1.1. Maceración

Para obtener el extracto del mosto se aplica la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$ex = P_i * {}^{\circ}P * 10$$

$$ex = 1,050 \times 12,5 \times 10$$

$$ex = 131,25 \frac{g}{l}$$

Donde:

ex: Extracto del mosto ($\frac{g}{l}$)

P_i: Densidad inicial (g/ml)

°P: Grados plato

- **Determinación del extracto total**

Para determinar la masa del extracto total se utiliza la siguiente formula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

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

$$exT = \frac{131,25 \frac{g}{l} * 35,20 l}{1000}$$

$$exT = 4,62 kg$$

Donde:

exT : Masa de extracto total (kg)

V_{mosto} : Volumen del mosto (maceracion) (kg)

- **Determinación de la masa de bagazo seco**

Para la obtención del bagazo seco se toma en cuenta la masa de la malta y el extracto total (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

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

$$Bs = 10 \text{ kg} - 4,62 \text{ kg}$$

$$Bs = 5,38 \text{ kg de bagazo seco}$$

Donde:

B_s : Bagazo seco (kg)

m_{malta} : Masa de la malta (kg)

- **Determinación de kg de mosto (antes del lavado)**

Para la obtención de la masa del mosto antes del lavado se aplica la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$m_{mosto} = m_{malta} + m_{agua} - Bs$$

$$m_{mosto} = 10 \text{ Kg} + 30 \text{ Kg} - 5,38 \text{ kg}$$

$$m_{mosto} = 34,62 \text{ kg}$$

Donde:

m_{mosto} : Masa del mosto antes del lavado (kg)

m_{agua} : Masa de agua que ingresa (kg)

- **Rendimiento**

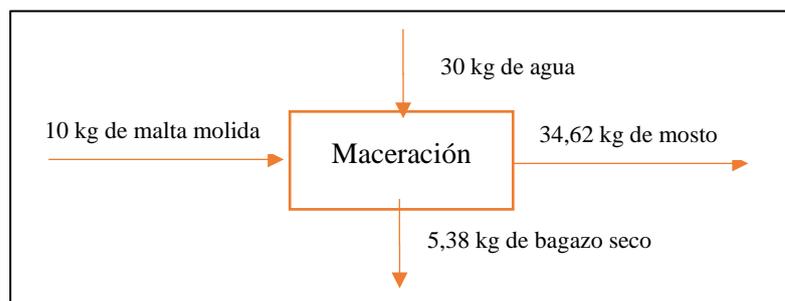


Ilustración 20-3: Balance de masa de la etapa de maceración

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$Rendimiento \% = \frac{Salida}{Entrada} * 100$$

$$Rendimiento \% = \frac{(34,62)}{(10 + 30)} * 100$$

$$Rendimiento \% = 86,55$$

- **Determinación de kg de mosto (después del lavado)**

$$m_{mosto L} = m_{mosto} + B_s + m_{H_2O \text{ lavada}} - B_{hum}$$

$$m_{mosto L} = 34,62 \text{ kg} + 5,38 \text{ kg} + 16 \text{ kg} - 14 \text{ kg}$$

$$m_{mosto L} = 42 \text{ kg}$$

Donde:

$m_{mosto L}$: Masa del mosto despues del lavado (kg)

$m_{H_2O \text{ lavado}}$: Masa de agua de lavado (kg)

B_{hum} : Bagazo humedo (kg)

- **Determinación de agua evaporada**

Para determinar la masa del agua evaporada a 100 °C, se utiliza las tablas termodinámicas para el agua saturada (Cengel, 2007, pp. 49-85). Ver Anexo A

$$m_{H_2O \text{ evaporada}} = \frac{Q}{\lambda}$$

$$m_{H_2O \text{ evaporada}} = \frac{12114,80 \frac{KJ}{h}}{2257 \frac{KJ}{kg}}$$

$$m_{H_2O \text{ evaporada}} = 5,36 \frac{kg}{h} * 1 h$$

$$m_{H_2O \text{ evaporada}} = 5,34 \text{ kg de agua evaporada}$$

Donde:

$m_{H_2O \text{ evaporada}}$: Agua evaporada (kg)

Q: Calor del quemador industrial ($\frac{KJ}{h}$)

λ : Calor latente del agua a 100 °C ($\frac{KJ}{kg}$)

- **Rendimiento**

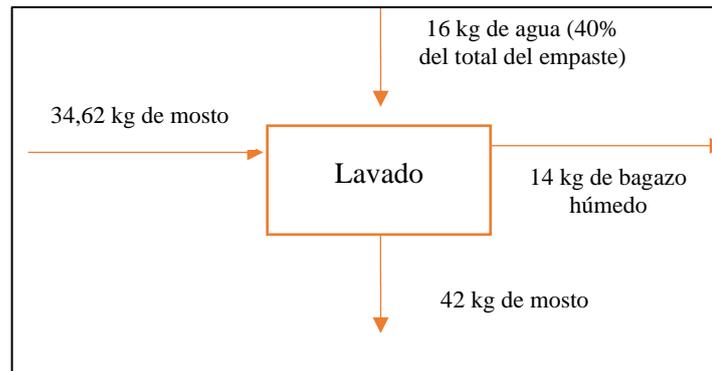


Ilustración 21-3: Balance de masa del lavado de granos

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{(42)}{(34,62 + 16)} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 82,97$$

3.3.1.2. Cocción

Para la determinación del mosto de salida previo a la fermentación se utiliza la siguiente ecuación (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$m_{\text{lúpulo}} + m_{\text{mostoL}} = m_{\text{mostoS}} + m_{\text{H2O evaporada}}$$

$$m_{\text{mostoS}} = 0,002 \text{ kg} + 42 \text{ kg} - 5,36 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mostoS}} = 36,64 \text{ kg}$$

Donde:

$m_{\text{lúpulo}}$: Masa del lúpulo (kg)

m_{mostoL} : Masa del mosto después del lavado (kg)

m_{mostoS} : Mosto de salida para la fermentación (kg)

$m_{\text{H2O evaporada}}$: Agua evaporada (kg)

- **Rendimiento**

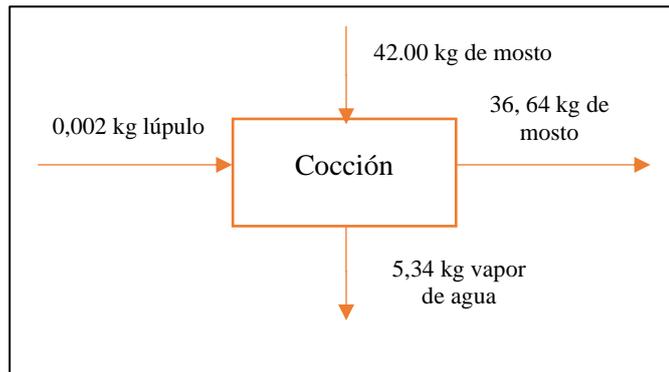


Ilustración 22-3: Balance de masa de la etapa de cocción

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{(36,64)}{(42,00 + 0,002)} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 87,23$$

- **Eficiencia del proceso de maceración**

Para saber la eficiencia se utilizará la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$\eta = \frac{(G.O - 1) * 0,25 * V_{MOSTO} * 1000}{M_{MALTA} * R_{MALTA}}$$

$$\eta = \frac{(1,050g/ml - 1) * 0,25 * 36,64 L * 1000}{10000 g * 81 \%}$$

$$\eta = \frac{(0.050g/ml) * 0,25 * 36,64 L * 1000}{10000 g * 81 \%}$$

$$\eta = \frac{(50g/l) * 0,25 * 36,64 L * 1000}{10000 g * 81 \%}$$

$$\eta = 0,57$$

Donde:

η : Eficiencia del mosto

G_O : Gravedad específica ($\frac{g}{ml}$)

Vf_{mosto} : Volumen final del mosto (L)

R_{malta} : Rendimiento de la malta seleccionada (Malta Pilsen) Anexo B

3.3.1.3. Fermentación

Para la obtención de la masa de cerveza obtenida previo a la fermentación se utiliza la siguiente ecuación (Tapia & Valle, 2021, p. 117).

$$\begin{aligned}m_{\text{mosto } S} + m_{\text{levadura}} &= m_{\text{bio}} + m_{\text{cerveza}} \\m_{\text{cerveza}} &= 0,023 \text{ kg} + 36,64 \text{ kg} - 3 \text{ kg} \\m_{\text{cerveza}} &= 33,66 \text{ kg}\end{aligned}$$

Donde:

m_{levadura} : Masa de la levadura (kg)

$m_{\text{mosto } S}$: Mosto de salida para la fermentación (kg)

m_{bio} : Masa de la biomasa (kg)

m_{cerveza} : Masa de cerveza obtenida posterior a la fermentación (kg)

- **Rendimiento**

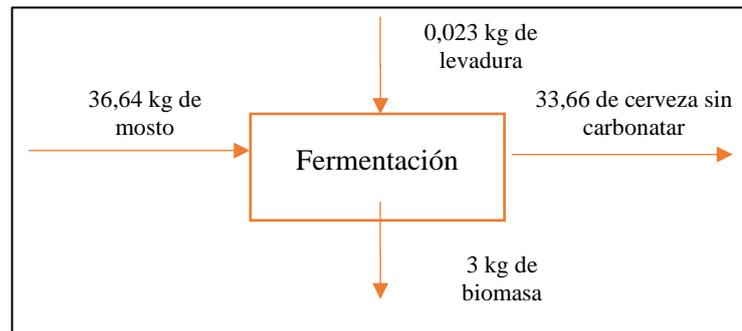


Ilustración 23-3: Balance de masa de la etapa de fermentación

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\begin{aligned}\text{Rendimiento } \% &= \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100 \\ \text{Rendimiento } \% &= \frac{(33,66)}{(36,64 + 0,023)} * 100 \\ \text{Rendimiento } \% &= 91,80\end{aligned}$$

3.3.1.4. Maduración

Para la obtención de cerveza madurada previo a la carbonatación se utiliza la siguiente fórmula (Tapia & Valle, 2021, p. 117).

$$\begin{aligned}m_{\text{cerveza}} &= m_{\text{madurada}} + m_{\text{bio}} \\m_{\text{madurada}} &= m_{\text{cerveza}} - m_{\text{bio2}} \\m_{\text{madurada}} &= 33,66 \text{ kg} - 1,50 \text{ kg} \\m_{\text{madurada}} &= 32,16 \text{ kg}\end{aligned}$$

Donde:

m_{cerveza} : Masa de la cerveza obtenida posterior a la fermentación (kg)

m_{madurada} : Masa de la cerveza madurada (kg)

m_{bio2} : Masa de la biomasa (kg)

- **Rendimiento**

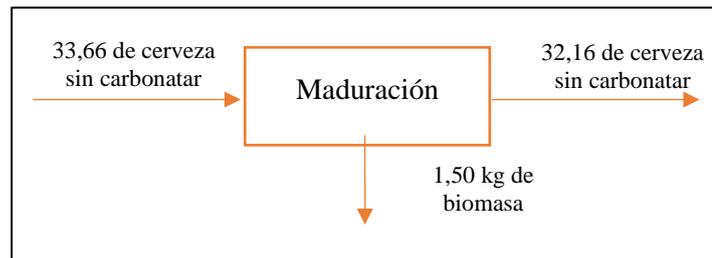


Ilustración 24-3: Balance de masa de la etapa de maduración

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{(32,16)}{(33,66)} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 95,54$$

3.3.1.5. Carbonatación

Para la obtención de la cerveza carbonatada se utiliza la siguiente fórmula (Calva & Venegas, 2021, pp. 25-89).

$$\begin{aligned}m_{\text{cerveza madurada}} + m_{\text{CO}_2} &= m_{\text{CO}_2 \text{ desp}} + m_{\text{cerveza carbonatada}} \\m_{\text{cerveza carbonatada}} &= 0,26 \text{ kg} + 32,16 \text{ kg} - 0,025 \text{ kg} \\m_{\text{cerveza carbonatada}} &= 32,40 \text{ kg}\end{aligned}$$

Donde:

m_{cerveza} : Masa de cerveza obtenida posterior a la maduración (kg)

$m_{\text{cerveza carbonatada}}$: Masa de cerveza carbonatada (kg)

$m_{\text{CO}_2 \text{ desp}}$: Masa de CO₂ desprendido (kg)

m_{CO_2} : Masa de CO₂ (kg)

- **Rendimiento**

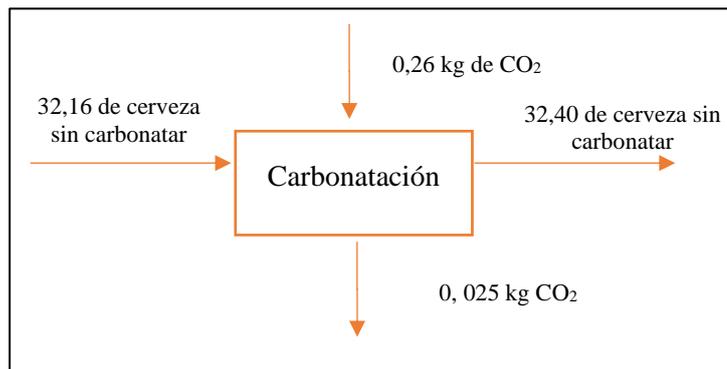


Ilustración 25-3: Balance de masa en la etapa de carbonatación

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\begin{aligned}\text{Rendimiento \%} &= \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100 \\ \text{Rendimiento \%} &= \frac{(32,40)}{(32,16 + 0,26)} * 100 \\ \text{Rendimiento \%} &= 99,93\end{aligned}$$

3.3.2. Balance de energía de la línea base

3.3.2.1. Macerador

Para determinar el calor cedido y ganado se aplica la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$Qg = mCp\Delta T$$
$$Qg = m_{mosto}Cp(T_f - T_i)$$
$$Qg = 34,59 \text{ Kg} \left(4,182 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} * \text{K}}\right)(340 - 293)\text{K}$$
$$Qg = 6.798,80 \text{ KJ}$$
$$Qc = -6.798,80 \text{ KJ}$$

Donde:

Q_g: Calor ganado (KJ)

Q_c: Calor cedido (KJ)

m_{mosto}: Masa del mosto del lavado (kg)

ΔT(T_f - T_i): Diferencia de temperatura (K)

C_p: Capacidad calorífica del agua al ambiente $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{kg} * \text{K}}\right)$

- **Masa de vapor**

Para determinar la masa de vapor necesaria en el macerador se utiliza la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$Qc = V_1 * \lambda$$
$$V_1 = \frac{Qc}{\lambda}$$
$$V_1 = \frac{6.798,80 \text{ KJ}}{2.257 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}}$$
$$V_1 = 3,012 \text{ kg}$$

Donde:

λ: Calor latente del agua $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}\right)$

Q_c: Calor cedido (KJ)

V₁: Masa de vapor necesaria en el macerador (kg)

3.3.2.2. Cocción

Para determinar el calor ganado y cedido en la etapa de cocción se utiliza la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}Q_g + Q_c &= 0 \\Q_g &= -Q_c \\Q_g &= m_{\text{mostos}} * \Delta T * C_p \\Q_g &= 41,04 \text{ kg} (368 - 351)K (4,195 \frac{\text{KJ}}{\text{kg K}}) \\Q_g &= 2.926,7 \text{ KJ} \\Q_c &= -2.926,7 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Donde:

m_{mostos} : Mosto de salida para la fermentación (kg)

- **Masa de vapor necesaria en la etapa de cocción**

Para determinar la masa de vapor necesaria en la etapa de cocción se utiliza la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}V_2 &= \frac{Q_c}{\lambda} \\V_2 &= \frac{2.926,7 \text{ KJ}}{2.257 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}} \\V_2 &= 1,296 \text{ kg}\end{aligned}$$

3.3.2.3. Fermentación

Para determinar el calor cedido y ganado se aplica la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}Q_g &= mC_p\Delta T \\Q_g &= m_{\text{mostos}}C_p(T_f - T_i) \\Q_g &= 37,6 \text{ kg} (4,205 \frac{\text{KJ}}{\text{kg * K}})(298 - 293)K \\Q_g &= 779,187 \text{ KJ} \\Q_c &= -779,187 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Donde:

Q_g : Calor acumulado (KJ)

Q_g : Calor ganado (KJ)

Q_c : Calor cedido (KJ)

m_{mosto} : Masa del mosto de salida al fermentador (kg)

$\Delta T(T_f - T_i)$: Diferencia de temperatura (K)

C_p : Capacidad calorífica del agua al ambiente ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg} * \text{K}}$)

3.3.3. Balance General de masa de la línea base

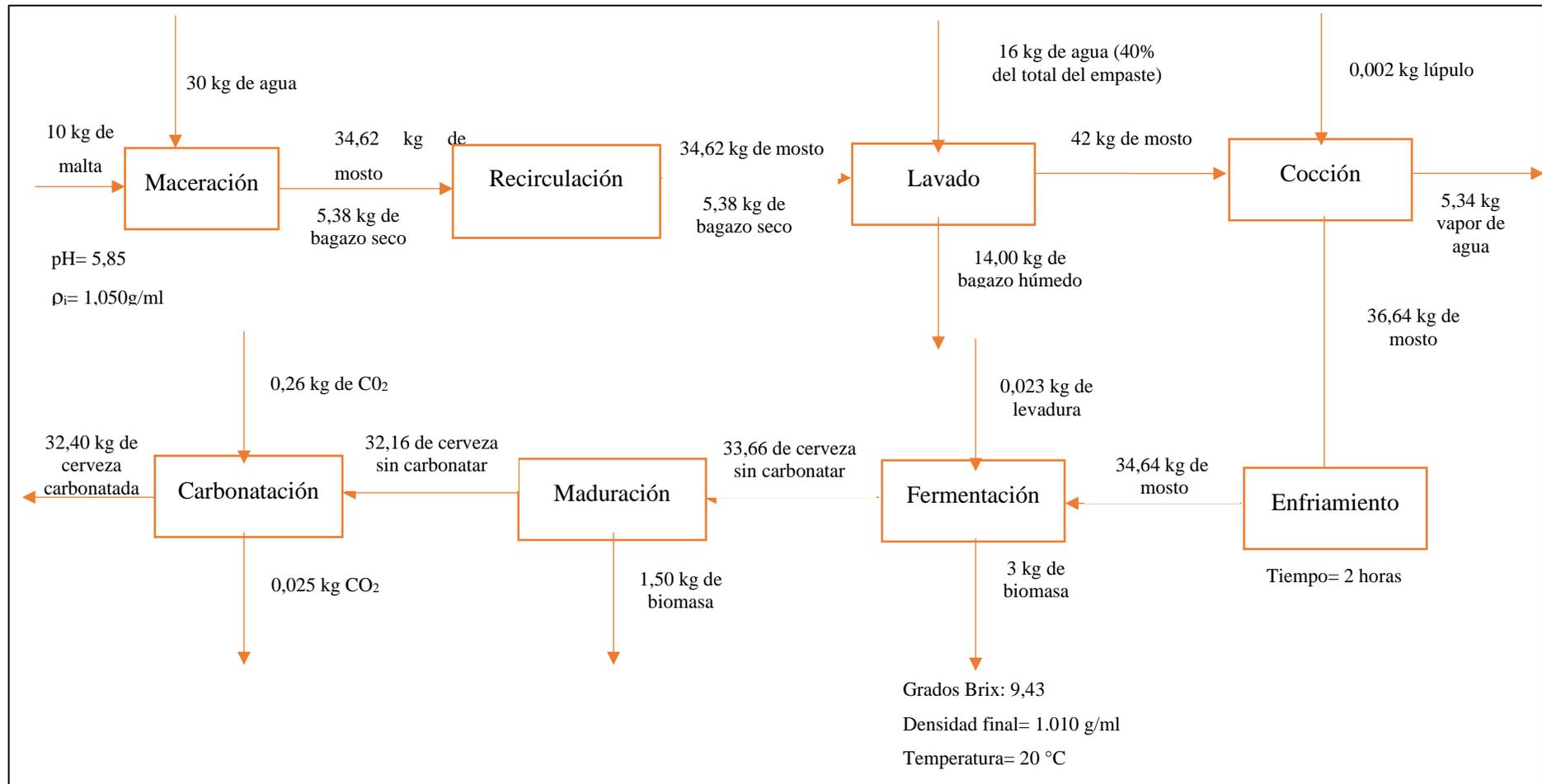


Ilustración 26-3: Balance general de la línea base

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.3.4. Diagrama P&ID de tuberías y accesorios de la línea base

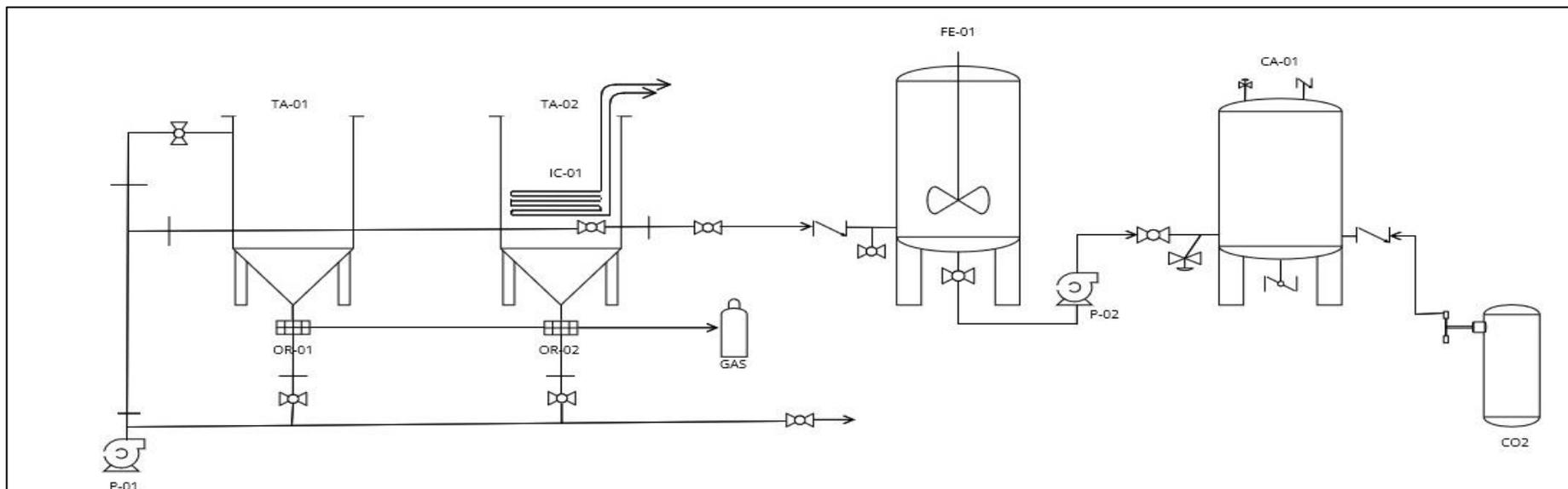


Ilustración 27-3: Diagrama P&ID de la línea base

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Especificaciones:

OR-01, OR-02: Quemadores industriales

IC-01: Intercambiador de calor por serpentín, Acero inoxidable AISI 304, enfriamiento del mosto

TA-01: Olla de calentamiento de agua, maceración y lavado de granos, acero inoxidable AISI 304, capacidad de 64,36 L

TA-02: Olla de Cocción, acero inoxidable ISI 304, capacidad de 64,36 L

FE-01: Tanque fermentador, acero inoxidable ISI 304, capacidad de 60 L

CA-01: Tanque carbonatador, acero inoxidable ISI 304

P-01/ P-02: Bomba centrífuga

Luego de realizar el balance de masa de la línea base se determinó que existen bajos rendimientos en las etapas de maceración, lavado de granos, fermentación y maduración; lo cual conlleva a pérdidas en la producción, ya que inicialmente se trabajó con 40 kg de materia prima y se obtuvo un lote total de 32.40 kg de cerveza artesanal.

Por otro lado, se determinó que es necesario implementar el proceso de molienda, filtración, carbonatación y mejorar la etapa de enfriamiento para así tener mayor facilidad y desenvolvimiento en la utilización de los equipos a la hora de la elaboración de la cerveza artesanal, logrando una mejor eficiencia y mayor capacidad en la línea de producción.

3.4. Cálculos de rediseño y dimensionamiento de los equipos

3.4.1. Rediseño de los equipos

3.4.1.1. Rediseño de las ollas de maceración y cocción

Se implementó una olla adicional con mayor capacidad para el proceso de hervido del mosto y la actual se cambió al proceso del hervido del agua, misma que nos ayudara a tener una mejor eficiencia y rendimiento en la etapa de maceración.

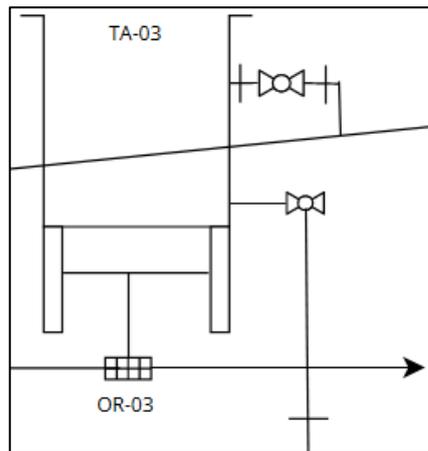


Ilustración 28-3: Olla de cocción.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 23-3: Normas seleccionadas para la construcción de la olla de cocción

Dimensión	Especificación	Normas seleccionadas
Tipo de acero	Acero inoxidable AISI 304	Tabla 1 A, Sección II Materiales Parte D, Código ASME
Especificaciones de las soldaduras	0, 7	Tabla UW-12, Subsección B, PARTE uw-12 Eficiencia de las juntas, Código ASME
Radio esférico interno (mm)	270	Subsección A, parte UG-32 Cabezales y secciones bajo presión en el lado cóncavo, Código ASME
Ancho de pared (mm)	3	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: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

- **Cálculos de volumen**

Para determinar el volumen de la olla de hervido se toma como referencia la línea base, teniendo en cuenta la evaporación en esta etapa que es del 10 % por cada hora y se utiliza la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$V = \pi * r * h$$

$$V = \pi (24,5 \text{ cm})^2(56 \text{ cm})$$

$$V = 113.144,45 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ ml}}{1 \text{ cm}^3} * \frac{1 \text{ L}}{100 \text{ mL}}$$

$$V = 113,14 \text{ L}$$

Donde:

V: Volumen del cilindro (L)

r: Radio del recipiente (cm)

h: Altura del recipiente (cm)

π: Número pi

- **Cálculo del área del cilindro**

Para calcular el área del cilindro se aplica la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

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

$$A_{B1} = (24,5)^2$$

$$A_{B1} = 188,574 \text{ cm}^2 x \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2}$$

$$A_{B1} = 0,1885 \text{ m}^2$$

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

$$A_{L1} = 2 \times \pi (24,5 \text{ cm})(56 \text{ cm})$$

$$A_{L1} = 8620,53 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2}$$

$$A_{L1} = 0,862 \text{ m}^2$$

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

$$A_1 = 0,1885 \text{ m}^2 + 0,8620 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 1,0505 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{B1} : Área base del recipiente (m^2)

A_{L1} : Área lateral del cilindro (m^2)

A_1 : Área del cilindro (m^2)

r : Radio del recipiente (cm)

h : Altura del recipiente (cm)

π : Número pi

3.4.1.2. Rediseño de un falso fondo

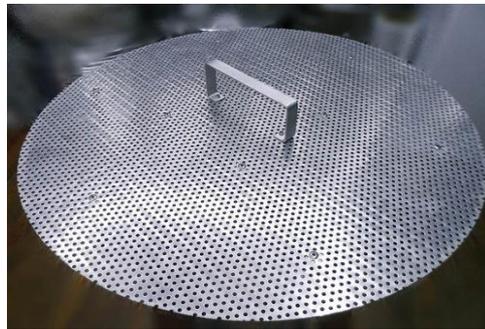


Ilustración 29-3: Falso fondo.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

- **Cálculo del área del filtro**

Para calcular el área del falso fondo se utiliza la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

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

$$A_{BF} = \pi \times (19,800)^2$$

$$A_{BF} = 1231,63 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2}$$

$$A_{BF} = 0,1232 \text{ m}^2$$

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

$$A_{LF} = 2 \times \pi (19,800 \text{ cm})(3 \text{ cm})$$

$$A_{LF} = 373,221 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{100^2 \text{ cm}^2}$$

$$A_{LF} = 0,037 \text{ m}^2$$

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

$$A_{TF} = 0,1232 \text{ m}^2 + 0,037 \text{ m}^2$$

$$A_{TF} = 0,16 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{BF} : Área base del filtro (m^2)

A_{LF} : Área lateral del filtro (m^2)

V : Volumen del cilindro (m^2)

r : Radio del recipiente (cm)

h : Altura del recipiente (cm)

π : Número pi

- **Cálculo del volumen del falso fondo**

Para calcular el volumen del filtro se utiliza la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$V = \pi * r * h$$

$$V = \pi (19,800 \text{ cm})^2(3 \text{ cm})$$

$$V = 3694,90 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ ml}}{1 \text{ cm}^3} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$V = 3,694 \text{ L}$$

Donde:

V : volumen del filtro (L)

r : Radio del recipiente (cm)

h : Altura del recipiente (cm)

π : Número pi

3.4.2. Dimensionamiento de los equipos a implementar

3.4.2.1. Diseño de un molino de rodillos para malta

El molino manual de dos rodillos es adecuado para la molienda de malta de cebada. Para el diseño del molino se considera las condiciones más críticas del producto (cebada) cuyos datos son:

Tabla 24-3: Condiciones específicas de la cebada

Longitud máxima	9,5 mm y mínima de 6,0 mm
Ancho	2,5 y 3,0 mm
Densidad 4 aproximada (peso específico)	67.00 Kg. /HL
Peso de los granos	varía de 45 a 55 g.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023



Ilustración 30-3: Molino de rodillos para malta

Fuente:(POLISINELLI, 2022, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

- **Número de rodillos**

El número establecido es de dos rodillos, que nos permite triturar la cebada de forma suave, progresiva, con uniformidad y una reducción en la formación de finos.

Tabla 25-3: Determinación del coeficiente de fricción

N°	Cateto en X	Cateto en Y	Angulo ($\tan^{-1} \frac{x}{y}$)	Coefficiente de fricción (μ)
1	438	190	23,45	0,4337
2	440	195	23,90	0,4431
3	435	192	23,81	0,4312
4	440	192	23,57	0,4362

Fuente: (Salas, 2012, pp. 22-84)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Mediante bibliografía se obtuvo valores experimentales para obtener el coeficiente de fricción entre el acero inoxidable y el maíz morocho, que se tomará como referencia para los cálculos (Salas, 2012, pp. 22-84).

$$\mu = 0.4360$$

$$\theta = 23,57^\circ$$

Donde:

μ : Coeficiente de fricción

θ : Ángulo

- **Ángulo de separación entre los rodillos**

Para determinar el ángulo de separación de los rodillos se utiliza la siguiente fórmula (Salas, 2012, pp. 22-84).

$$A = 2 * \tan^{-1}(\mu)$$

$$A = 2 * \tan^{-1}(0,4360)$$

$$A = 47,152^\circ$$

Donde:

A : Ángulo de separación de los rodillos

θ : Coeficiente de fricción entre materiales

- **Latitud del contacto**

La latitud de contacto se obtiene mediante la siguiente ecuación (Salas, 2012, pp. 22-84).

$$L = \frac{D_r * A}{4}$$

$$L = \frac{32 \text{ mm} * 0,291}{4}$$

$$L = 2,328 \text{ mm}$$

Donde:

L : Longitud de acero de contacto (mm)

D_r : Diámetro de rodillos (mm)

A : Ángulo de contacto (rad)

Se consideró para el diseño del molino manual un diámetro de 32 mm para los rodillos

- **Cantidad a triturar**

El molino trabaja de forma manual o para acelerar el tiempo de molienda se puede instalar un taladro de 3/8" con 200-300 rpm, la longitud de rodillos sugerido es de 126 mm (Salas, 2012, pp. 22-84).

$$Q = 60\pi * N * D_r * D_f * l$$

$$Q = 60 \pi * (200)(0,032 \text{ m})(0,3 \text{ m})(0,126 \text{ m})$$

$$Q = 50 \frac{m^3}{h}$$

Donde:

Q : Cantidad a triturar (m^3/h)

N : Revoluciones por minutos del molino (rpm)

D_f : Diámetro medio de las partículas finas (m)

D_r : Diámetro de los rodillos (m)

D_r : Diámetro (m)

l : Longitud de los rodillos (m)

3.4.2.2 Diseño de un intercambiador de calor por placas

- **Balance de energía**

$$\dot{m}_M C_{pM}(T_{eM}-T_{sM}) = \dot{m}_A C_{pA}(T_{sA}-T_{eA})$$

Donde:

\dot{m}_M : Flujo másico del mosto (kg/s)

C_{pM} : Calor específico del mosto a la temperatura promedio (J/kg K)

T_{eM} : Temperatura de entrada del mosto (°C)

T_{sM} : Temperatura de salida del mosto (°C)

\dot{m}_A : Flujo másico del agua (kg/s)

C_{pA} : Calor específico del agua a la temperatura promedio (J/kg K)

T_{eA} : Temperatura de entrada del agua (°C)

T_{sA} : Temperatura de salida del agua (°C)

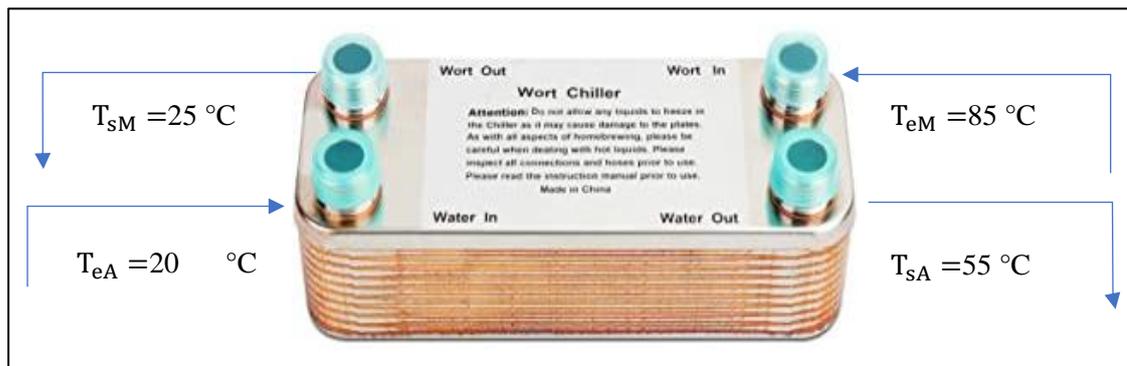


Ilustración 31-3: Enfriador de 20 placas

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Se obtiene las propiedades físicas de los fluidos de trabajo, para lo cual se puede usar las tablas termodinámicas para agua saturada entrando con la temperatura promedio de cada uno de los fluidos que se obtiene (Cengel, 2007, pp. 49-85).

$$t_{prom} = \frac{T_e + T_s}{2}$$

Donde

T_e y T_s son temperatura de entrada y salida del fluido

- **Temperatura promedio para el fluido caliente (mosto)**

$$t_{prom} = \frac{70 + 49}{2}$$

$$t_{prom} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Temperatura promedio para el fluido frío (agua)**

$$t_{prom} = \frac{20 + 55}{2}$$

$$t_{prom} = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para calcular el flujo másico del mosto se relaciona el flujo másico con el flujo volumétrico (Figueros & Martínez, 2014, pp.18-90).

$$\dot{m}_M = Q_M * \rho_M$$

Donde:

Q_M : flujo volumetrico del mosto ($\frac{1}{s}$)

ρ_M : Densidad del mosto ($\frac{kg}{m^3}$)

La capacidad de la olla de mosto es de 113,14 L, el tiempo de enfriamiento es de 25 minutos. Para poder calcular el flujo volumétrico del mosto hacia el intercambiador de calor se obtiene a partir de la siguiente fórmula (Figueros & Martínez, 2014, pp.18-90).

$$Q_M = \frac{v}{t_{prom}}$$

Donde:

Q_M : flujo volumetrico del mosto ($\frac{1}{s}$)

v : volumen de la olla de mosto (l)

t_{prom} : Tiempo promedio de enfriamiento (s)

$$t_{prom} = \frac{t_f + t_i}{2}$$

$$t_{prom} = \frac{25 \text{ min} + 20 \text{ min}}{2}$$

$$t_{prom} = 22,5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$t_{prom} = 1350 \text{ s}$$

$$Q_M = \frac{v}{t_{prom}}$$

$$Q_M = \frac{113,14 \text{ l}}{1350 \text{ s}}$$

$$Q_M = 0,083 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

A partir de este valor se puede calcular el flujo másico del mosto, la densidad del mosto a temperatura promedio de 55 °C es de $985,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (Figueros & Martínez, 2014, pp.18-90). Ver Anexo A

$$\dot{m}_M = Q_M * \rho_M$$

$$\dot{m}_M = \left(0,083 \frac{\text{l}}{\text{s}}\right) * \left(985,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}}\right)$$

$$\dot{m}_M = 0,082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Donde:

\dot{m}_M : flujo másico del mosto $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

ρ_M : Densidad del mosto a 55 °C $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

Q_M : Flujo volumétrico del mosto $\left(\frac{\text{l}}{\text{s}}\right)$

Con el flujo másico del mosto partimos para calcular el flujo másico del agua (Figueros & Martínez, 2014, pp.18-90).

$$\dot{m}_M C_{pM}(T_{eM}-T_{sM}) = \dot{m}_A C_{pA}(T_{eA}-T_{sA})$$

$$\dot{m}_A = \frac{\dot{m}_M C_{pM}(T_{eM}-T_{sM})}{C_{pA}(T_{sA}-T_{eA})}$$

$$\dot{m}_A = \frac{\left(0,082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(4185 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}\right) (358 - 298)K}{\left(4178 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}\right) (328 - 293)K}$$

$$\dot{m}_A = 0,140 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Donde:

T_{eM} : Temperatura de entrada del mosto (K)

T_{sM} : Temperatura de salida del mosto (K)

T_{eA} : Temperatura de entrada del agua (K)

T_{sA} : Temperatura de salida del agua (K)

\dot{m}_M : flujo másico del mosto $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

\dot{m}_A : flujo másico del agua $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$

C_{pA} : calor específico del agua $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg K}}\right)$

C_{pM} : Calor específico del mosto $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg K}}\right)$

- **Flujo de calor**

Se puede calcular el flujo de calor tanto del fluido caliente y frío a partir de la siguiente fórmula (Figueros & Martínez, 2014, pp.18-90).

$$Q = \dot{m}_M C_{pM} (T_{eM} - T_{sM})$$

$$Q = \left(0,082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(4185 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}\right) (358 - 298)K$$

$$Q = 20590,2 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$Q = 4,92 \frac{\text{kcal}}{\text{s}}$$

Tabla 26-3: Tabla de especificaciones iniciales para el diseño del ICP

Detalle	Fluido caliente	Fluido frío	Unidades
Fluido	Mosto	Agua	
Caudal	0,082	0,140	kg/s
Temperatura de entrada	85	20	°C
Temperatura de salida	25	55	°C
Caída máxima de presión	1,2792	1,881	Psi
Factor de ensuciamiento (R_f)	0,000015	0,000015	$\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$
Calor específico (C_p)	4185	4178	$\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

Viscosidad dinámica	$0,467 \times 10^{-3}$	$0,720 \times 10^{-3}$	$\frac{N \cdot s}{m^2}$
Conductividad térmica	0,654	0,623	$\frac{W}{m \cdot K}$
Densidad	983,3	994,0	$\frac{kg}{m^3}$
Numero de Prant	2,99	4,83	Adimensional

Fuente: (Cengel, 2007, pp. 49-85).

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

En la Tabla 15-3 se muestra las especificaciones iniciales de las placas, algunos de estos datos son proporcionados por los fabricantes y otros se pueden establecer como parámetros iniciales de diseño, ya que se pueden recalculan dependiendo de los resultados obtenidos en otras variables.

- **Diferencias logarítmicas de temperatura**

Para determinar las diferencias logarítmicas de temperatura se aplica la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$\Delta T_m = \frac{(T_{eM} - T_{sA}) - (T_{sM} - T_{eA})}{\ln \left(\frac{T_{eM} - T_{sA}}{T_{sM} - T_{eA}} \right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{(85 - 55) - (25 - 20)}{\ln \left(\frac{85 - 55}{25 - 20} \right)}$$

$$\Delta T_m = 14 \text{ } ^\circ\text{C} - K$$

- **Número efectivo de placas:**

La primera y última placa están en contacto con los fluidos por una sola cara, no son tomadas en cuenta en el cálculo de la transferencia de calor (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$Ne = Nt - 2$$

$$Ne = 20 - 2$$

$$Ne = 18$$

Donde:

Ne : Número efectivo de placas

Nt : Número total de placas

La longitud efectiva entre puertos es la misma que se define como (L_v) (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$L_{eff} = L_v$$

$$L_{eff} = 0,15 \text{ m}$$

- **Paso por placa (P)**

Para calcular el paso por placa se toma en cuenta el paso medio y el espesor de placa (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$b = P - t$$

$$P = b + t$$

$$P = (2,4 \times 10^{-3} \text{ m}) + (0,0003 \text{ m})$$

$$P = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Donde:

b : Paso medio de placa (dato proporcionado por el fabricante) (m)

t : Espesor de la placa (m)

- **Longitud de placas comprimidas (L_c)**

Para calcular la longitud de las placas comprimidas se utiliza la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$P = \frac{L_c}{N_t}$$

$$L_c = P * N_t$$

$$L_c = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m} * 20$$

$$L_c = 0,054 \text{ m}$$

Donde:

N_t : Número total de placas

P : Paso por placa (m)

- **Área de flujo de un canal (A_{ch})**

Para determinar el área de flujo del canal se necesita calcular el ancho efectivo de la placa utilizando la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$L_w = L_h + D_p$$

$$L_w = 0,053m + 0,02032m$$

$$L_w = 0,0733 m$$

$$A_{ch} = b * L_w$$

$$A_{ch} = 2,4 \times 10^{-3} m * 0,0733 m$$

$$A_{ch} = 1,779 \times 10^{-4} m$$

Donde:

L_h : Distancia horizontal entre puertos (m)

D_p : Diámetro de los puertos (m)

b : Paso medio de placa (m)

L_w : Ancho efectivo de la placa (m)

- **Área de transferencia de una placa (A_1)**

Para calcular el área de transferencia de una placa se utiliza la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$A_1 = \frac{A_e}{N_e}$$

$$A_1 = \frac{0,216 m^2}{18}$$

$$A_1 = 0,012 m^2$$

Donde:

A_e : Área efectiva (definida como parámetro de diseño) (m^2)

N_e : Número efectivo de placas

- **Área proyectada de una placa (A_{1p})**

Para determinar el área proyectada de una placa se necesita calcular el alto efectivo de placa (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$L_p = L_v - D_p$$

$$L_p = 0,157 \text{ m} - 0,02032 \text{ m}$$

$$L_p = 0,136 \text{ m}$$

$$A_{1p} = L_p * L_w$$

$$A_{1p} = 0,136 \text{ m} * 0,0733 \text{ m}$$

$$A_{1p} = 0,00997 \text{ m}^2$$

Donde:

D_p : Diámetro de los puertos (m)

L_w : Ancho efectivo de la placa (m)

- **Factor de ampliación (\emptyset)**

$$\emptyset = \frac{A_1}{A_{1p}}$$

$$\emptyset = \frac{0,012 \text{ m}^2}{0,00997 \text{ m}^2}$$

$$\emptyset = 1,20$$

Este valor se encuentra dentro del rango establecido 1,15 a 1,25 (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

- **Número de canales por paso**

Un canal es el conducto formado entre dos placas adyacentes, mientras que un paso es un conjunto de canales donde la corriente se divide y se distribuye (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$N_{cp} = \frac{N_t - 1}{2 * N_p}$$

$$N_{cp} = \frac{20 - 1}{2 * 1}$$

$$N_{cp} = 10$$

Donde:

Nt : Número total de placas

Ncp : Número de canales por paso

- **Canal o diámetro hidráulico (D_h)**

Para determinar el diámetro hidráulico se aplica la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$D_h = \frac{2 * b}{\emptyset}$$
$$D_h = \frac{2(2,4 \times 10^{-3} \text{ m})}{1,20}$$
$$D_h = 0,0004 \text{ m}$$

- **Análisis de transferencia de calor**

Caudal másico por cada canal (\dot{m}_{ch}), para calcular el caudal másico por cada canal se aplica la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$(\dot{m}_{ch})_M = \frac{\dot{m}_M}{N_{cp}}$$
$$(\dot{m}_{ch})_M = \frac{0,082 \frac{kg}{s}}{10}$$
$$(\dot{m}_{ch})_M = 0,0082 \frac{kg}{s}$$

$$(\dot{m}_{ch})_A = \frac{\dot{m}_A}{N_{cp}}$$
$$(\dot{m}_{ch})_A = \frac{0,140 \frac{kg}{s}}{10}$$
$$(\dot{m}_{ch})_A = 0,014 \frac{kg}{s}$$

- **Velocidad de masa (G_{ch})**

Para calcular la velocidad de masa de cada canal se utiliza la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$(\mathbf{G}_{ch})_M = \frac{(\dot{m}_{ch})_M}{A_{ch}}$$

$$(\mathbf{G}_{ch})_M = \frac{0,0082 \frac{kg}{s}}{1,779 \times 10^{-4} m^2}$$

$$(\mathbf{G}_{ch})_M = 46,09 \frac{kg}{m^2 s}$$

$$(\mathbf{G}_{ch})_A = \frac{(\dot{m}_{ch})_A}{A_{ch}}$$

$$(\mathbf{G}_{ch})_A = \frac{0,014 \frac{kg}{s}}{1,779 \times 10^{-4} m^2}$$

$$(\mathbf{G}_{ch})_A = 78,69 \frac{kg}{m^2 s}$$

- **Número de Reynolds (Re)**

Para calcular el número de Reynolds de cada canal se aplica la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$Re_M = \frac{(\mathbf{G}_{ch})_M * D_h}{\mu_h}$$

$$Re_M = \frac{(46,09 \frac{kg}{m^2 s})(4 \times 10^{-3} m)}{0,467 \times 10^{-3} \frac{N s}{m^2}}$$

$$Re_M = 394,77$$

$$Re_A = \frac{(\mathbf{G}_{ch})_A * D_h}{\mu_h}$$

$$Re_A = \frac{(78,69 \frac{kg}{m^2 s})(4 \times 10^{-3} m)}{0,720 \times 10^{-3} \frac{N s}{m^2}}$$

$$Re_A = 437,17$$

- **Coefficiente de transferencia por convección**

$$h_M = \frac{Nu_M * K_h}{D_M}$$

$$Nu_M = C_h(Re_M)^n(Pr_M)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_o}{\mu_w}\right)^{0.17}$$

Según Córdoba, (2019, pp. 10-68). $\left(\frac{\mu_o}{\mu_w}\right)^{0.17} = 1$, ya que esta expresión tiene gran influencia en líquidos de gran viscosidad, como los líquidos de trabajo no cumplen con dicha característica su valor puede ser despreciable y trabajarse con valor de 1.

Chevron Angle (degree)	Heat Transfer			Pressure Loss		
	Reynolds Number	C_h	n	Reynolds Number	K_p	m
≤30	≤10	0.718	0.349	<10	50.000	1.000
	>10	0.348	0.663	10-100	19.400	0.589
45	<10	0.718	0.349	>100	2.990	0.183
	10-100	0.400	0.598	<15	47.000	1.000
	>100	0.300	0.663	15-300	18.290	0.652
50	<20	0.630	0.333	>300	1.441	0.206
	20-300	0.291	0.591	<20	34.000	1.000
	>300	0.130	0.732	20-300	11.250	0.631
60	<20	0.562	0.326	>300	0.772	0.161
	20-400	0.306	0.529	<40	24.000	1.000
	>400	0.108	0.703	40-400	3.240	0.457
≥65	<20	0.562	0.326	>400	0.760	0.215
	20-500	0.331	0.503	50	24.000	1.000
	>500	0.087	0.718	50-500	2.800	0.451
				>500	0.639	0.213

Ilustración 32-3: Constantes para transferencia de calor monofásica y pérdida de presión.

Fuente: (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$C_h = 0,3 \quad y \quad n = 0,663$$

$$Nu_M = (0,3)(394,77)^{0,663}(2,99)^{\frac{1}{3}} = 22,75$$

$$h_M = \frac{Nu_M * K_M}{D_h}$$

$$h_M = \frac{(22,75)(0,654 \frac{W}{m K})}{4 x 10^{-3} m}$$

$$h_M = 3719,63 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Nu_A = (0,3)(437,17)^{0,663}(4,83)^{\frac{1}{3}} = 28,56$$

$$h_A = \frac{Nu_A * K_A}{D_h}$$

$$h_A = \frac{(28,56)(0,623 \frac{W}{m K})}{4 x 10^{-3} m}$$

$$h_A = 4448,22 \frac{W}{m^2 K}$$

Para determinar los coeficientes globales se utilizan las siguientes fórmulas (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

- **Coeficiente global de transferencia limpio (U_C)**

$$U_C = \frac{1}{\frac{1}{h_M} + \frac{1}{h_A} + \frac{t}{k_p}} = \frac{1}{\frac{1}{3719,63 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{1}{4448,22 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{0,0003 \frac{m}{m K}}{15 \frac{W}{m K}}}$$

$$U_C = 1946,84 \frac{W}{m^2 K}$$

- **Coeficiente global de transferencia limpio (U_f)**

Para los intercambiadores de placas con juntas el factor de ensuciamiento es del 15 % por tanto se tomará el factor de ensuciamiento con un valor de:

$$R_f = 0,001 \frac{h \cdot ft^{2 \circ F}}{B T U}$$

Este aplica para agua fría y caliente

$$R_f = 0,00018 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{U_C} + R_{fM} + R_{fA}}$$

$$U_f = \frac{1}{\frac{1}{1946,84 \frac{W}{m^2 K}} + 0,00018 \frac{m^2 K}{W} + 0,00018 \frac{m^2 K}{W}}$$

$$U_f = 1144,62 \frac{W}{m^2 K}$$

- **Factor de limpieza (CF)**

Para determinar el factor de limpieza se emplea la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$CF = \frac{U_f}{U_c}$$

$$CF = \frac{1144,62 \frac{W}{m^2 K}}{1946,84 \frac{W}{m^2 K}}$$

$$CF = 0,588$$

- **Flujos caloríficos limpio y sucio ($Q_f - Q_c$)**

Para la obtención de los flujos caloríficos limpios y sucios se aplica la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$Q_f = U_f * A_e * \Delta T_m$$

$$Q_f = \left(1144,62 \frac{W}{m^2 K} \right) * 0,216 m^2 * 14 K$$

$$Q_f = 3461,33 w$$

$$Q_c = U_c * A_e * \Delta T_m$$

$$Q_c = \left(1946,84 \frac{W}{m^2 K} \right) * 0,216 m^2 * 14 K$$

$$Q_c = 5887,24 w$$

- **Factor de seguridad (C_s)**

Para la obtención del factor de seguridad se aplica la siguiente fórmula (Córdoba, 2019, pp. 10-68).

$$C_s = \frac{Q_f}{Q_c}$$

$$C_s = \frac{3461,33 w}{5887,24 w}$$

$$C_s = 0,588$$

3.5. Equipos complementarios

3.5.1. Filtro de cartucho lavable para mosto



Ilustración 33-3: Filtro para mosto

Fuente: (BREWMASTERS, 2020, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 27-3: Especificaciones del filtro lavable

Medidas	Tipo de material utilizado	Características
Medios filtrantes: 1 micra	Plástico reforzado para mayor estabilidad y dureza.	Está diseñado para filtrar partículas de hasta 1 micra, lo que se considera filtración fina con una carcasa de filtro, un filtro de sedimentos hilado y accesorios para la conexión a la carcasa del filtro, abrazaderas y dos desconexiones rápidas de bloqueo de bola de salida de bebida.
Filtro lavable 6,85cm de diámetro x 26 cm de largo		
Carcasa del filtro: 8,60 cm de diámetro x 26,67 cm de largo		
Válvula de paso: 1/2" BSP con salida racor de 3/8"		

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.5.2. Llenador a contra presión



Ilustración 34-3: Llenador a contra presión

Fuente: (BREWMASTERS, 2020, p. 1)

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 28-3: Especificaciones del llenador a contra presión

Medidas	Tipo de material utilizado	Características
Estructura: 36,5 cm de largo x 26 cm de ancho	Acero Inoxidable AISI 304L	Construida con un sistema regulable para diferentes medidas de botellas y recipiente recolector de líquido derramado. La llenadora incluye una llave de doble vía (cerveza carbonatada y CO ₂), válvula de purga y tapón de silicona en grado alimenticio.
Base reguladora: 37 cm de largo x 30 cm de alto (con tubo de 1" ½)		
Recipiente recolector de líquido derramado: 28,5 de largo x 6 cm de ancho		
Llave de llenado 39,88 cm de largo, llave de doble vía de 0,24 "		

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.6. Optimización de la línea base mediante el rediseño e implementación de equipos

3.6.1. Descripción del proceso actual

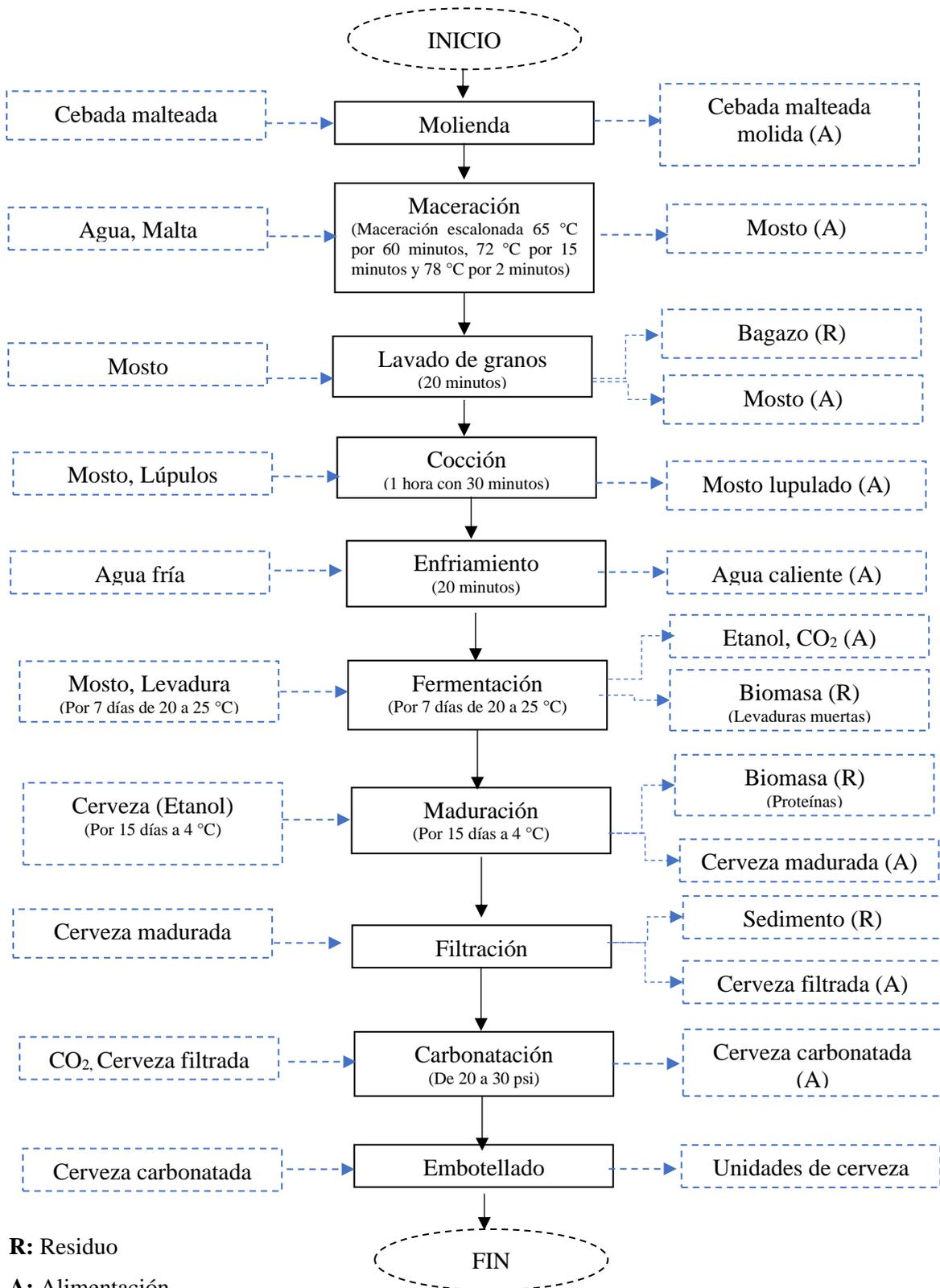


Ilustración 35-3: Diagrama de flujo de la línea propuesta.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.6.1.1. Molienda

Esta etapa fue implementada con la finalidad que la molienda se realice dentro del mismo laboratorio, obteniendo partículas con un diámetro deseado que nos servirá para el siguiente proceso de maceración; para ello los granos de la cebada se introdujeron dentro del molino tomando en cuenta la abertura de los rodillos para que los granos sean rotos, pero no en su totalidad y de la misma manera garantizando que no queden granos enteros.

3.6.1.2. Maceración

La maceración se realizó con 3 kg de agua por cada kg de malta molida; el proceso fue de forma escalonada de la siguiente manera:

- Se maceró a 65 °C dejando reposar por 60 minutos.
- Luego se aumentó la temperatura hasta los 72 °C reposando por 15 minutos.
- Por último, se subió la temperatura hasta los 78 °C por 2 minutos adicionales.

3.6.1.3. Lavado de granos

Una vez terminada la maceración se procedió a realizar el primer filtrado con la finalidad de extraer la mayor cantidad de azúcares fermentables; para lo cual se añadió 16 kg de agua (40 % del total del empaste) a 75 °C después de haber hecho el recirculado y separar el extracto del mosto.

3.6.1.4. Cocción

El mosto obtenido se lleva a cocción de forma vigorosa por 90 minutos, con la finalidad de eliminar microorganismos que puedan existir en el extracto y conseguir esterilizar el mosto, además se adicionó los lúpulos y el clarificante que nos ayudará a aportar sabor, amargor y aroma a la cerveza.

3.6.1.5. Enfriamiento

Se mejoró el proceso anterior con la implementación de un enfriador de placas, el mismo ayuda a disminuir el tiempo de enfriamiento a 20 minutos evitando que el mosto se contamine por agentes externos. Se debe enfriar hasta los 25 °C que es la temperatura adecuada para la adición levadura.

3.6.1.6. Fermentación

Se traspasó el mosto al fermentador y se agregó la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), 0,0115 kg por cada 40 kg de mosto, y se procedió a sellar herméticamente la tapa del fermentador y colocar el Airlock con agua y alcohol industrial en una proporción 1 a 1, dejando reposar por 7 días a una temperatura de 20 a 25 °C

3.6.1.7. Maduración

Concluida la fermentación, se extraen los sedimentos generados durante este proceso y se procede a madurar la cerveza en el mismo tanque de fermentación ya que es necesario precipitar polifenoles, proteínas y residuos de levadura que enturbian la cerveza; esto se logra bajando la temperatura a 4 °C por 15 días.

3.6.1.8. Filtración

Luego de la etapa de maduración la cerveza es sometida al proceso de filtración para separar pequeñas partículas de levadura y compuestos que aún se encuentran en suspensión, para ello fue necesario incorporar un filtro lavable en el nuevo proceso.

3.6.1.9. Carbonatación

Para este proceso es necesario establecer la presión de carbonatación en un valor fijo, para ello se recomienda cualquier valor en el rango de 20 a 30 Psi; al llegar al nivel de carbonatación establecido por la Norma Técnica INEN 2262 cuyo valor es de 2,2 a 3,5 % Vol. se termina el proceso y se procede a envasar.

3.6.1.10. Embotellado

Antes de embotellar la cerveza debemos asegurarnos de que las botellas no estén contaminadas por lo que se recomienda previamente esterilizar en una autoclave de ser el caso; así mismo no deben que presenten fisuras. Para realizar el proceso de llenado a contra presión, la cerveza se debe enfriar con lo que se conseguirá la formación de espumas debido a las diferencias de temperatura.

3.7. Balance de masa y energía de la línea repotenciada

Una vez realizado el diseño e implementación de los equipos y optimizado las etapas de fermentación y carbonatación fue necesario realizar el balance de masa y energía para conocer si el rendimiento y eficiencia mejoró en cada una de las etapas.

3.7.1. Balance de masa

Tabla 29-3: Datos conocidas para realizar el balance de masa

Cerveza Abadía Ámbar		
Variables conocidas		
Variable	Cantidad	Unidades
Malta	10	kg
Levadura	0,023	kg
Lúpulo	0,002	kg
Grados plato (antes de la cocción)		
Densidad inicial	1,057	g/ml
Dióxido de carbono	0,26	kg
Dióxido de Carbono (CO ₂) a la atmósfera	0,025	kg
Masa del desperdicio que se genera	0,85	kg

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

3.7.1.1. Molienda

Para obtener la masa de la malta se aplica la siguiente fórmula.

$$E = S$$

$$m_{malta} = C - m_{desperdicio}$$

$$m_{malta} = 10,85 \text{ kg} - 0,85 \text{ kg}$$

$$m_{malta} = 10 \text{ kg}$$

Donde:

C : Masa de la cebada(kg)

m_{malta} : Masa de la malta (kg)

m_{desperdicio} : Masa del desperdicio que se genera (kg)

- **Rendimiento**

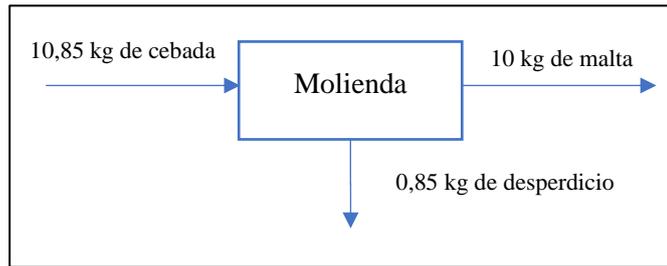


Ilustración 36-3: Balance de masa de la etapa molienda

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{(10)}{(10,85)} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 92,16$$

3.7.1.2. Maceración

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

Para determinar los grados plato se aplica la siguiente formula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

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

$$^{\circ}P = \frac{(1,057 - 1) * 1000}{4}$$

$$^{\circ}P = 14,25$$

Donde:

ρ_{AC} : Densidad antes de la cocción ($\frac{g}{ml}$)

$^{\circ}P$: Grados plato

- **Determinación del extracto del mosto**

Para obtener el extracto del mosto se aplica la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$ex = P_i * {}^{\circ}P * 10$$

$$ex = 1,057 \frac{g}{L} * 14,25 * 10$$

$$ex = 150,62 \frac{g}{L}$$

Donde

ex : Extracto del mosto ($\frac{g}{L}$)

P_i : Densidad inicial (dato experimental 1.050) ($\frac{g}{L}$)

°P : Grados plato

- **Determinación del extracto total**

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

$$exT = \frac{150,62 \frac{g}{L} * 35,74 L}{1000}$$

$$exT = 5,38 Kg$$

Donde:

exT: Masa de extracto total (kg)

V_{mosto} : Volumen del mosto (maceración) (L)

- **Determinación de la masa de bagazo seco**

Para determinar la masa del bagazo seco se aplica la fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

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

$$Bs = 10 kg - 5,38 kg$$

$$Bs = 4,62 kg \text{ de bagazo seco}$$

Donde:

Bs : Bagazo seco (kg)

m_{malta} : Masa de la malta (kg)

- **Determinación de kg de mosto (antes del lavado)**

Para determinar la masa del mosto antes del lavado de granos se aplica la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$m_{mosto} = m_{malta} + m_{agua} - B_s$$

$$m_{mosto} = 10Kg + 30Kg - 4,62Kg$$

$$m_{mosto} = 35,38 kg$$

Donde:

m_{mosto} : Masa del mosto antes del lavado (kg)

m_{agua} : Masa de agua que ingresa (kg)

- **Rendimiento**

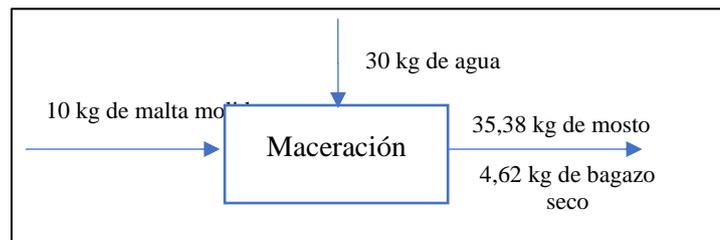


Ilustración 37-3: Balance de masa de la etapa de maceración

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$Rendimiento \% = \frac{Salida}{Entrada} * 100$$

$$Rendimiento \% = \frac{(35,38)}{(10 + 30)} * 100$$

$$Rendimiento \% = 88,45$$

- **Determinación de kg de mosto (después del lavado)**

Para determinar la masa del mosto después del lavado se aplica la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$m_{mosto L} = m_{mosto} + B_s + m_{H2O lavada} - B_{hum}$$

$$m_{mosto L} = 35,38 kg + 4,62 kg + 16Kg - 12 kg$$

$$m_{mosto L} = 44 kg$$

Donde:

$m_{\text{mosto L}}$: Masa del mosto despues del lavado (kg)

$m_{\text{H}_2\text{O lavado}}$: Masa de agua de lavado (kg)

B_{hum} : Bagazo húmedo (kg)

- **Determinación de agua evaporada**

Para determinar la masa del agua evaporada a 100 °C, se utiliza las tablas termodinámicas para el agua saturada (Cengel, 2007). Ver Anexo A

$$m_{\text{H}_2\text{O evaporada}} = \frac{Q}{\lambda}$$
$$m_{\text{H}_2\text{O evaporada}} = \frac{12114,80 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}}{2257 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}}$$
$$m_{\text{H}_2\text{O evaporada}} = 5,34 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1 \text{ h}$$
$$m_{\text{H}_2\text{O evaporada}} = 5.34 \text{ Kg de agua evaporada}$$

Donde:

$m_{\text{H}_2\text{O evaporada}}$: Agua evaporada (kg)

Q : Calor del quemador industrial ($\frac{\text{KJ}}{\text{h}}$)

λ = Calor latente del agua 100°C ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$)

- **Rendimiento**

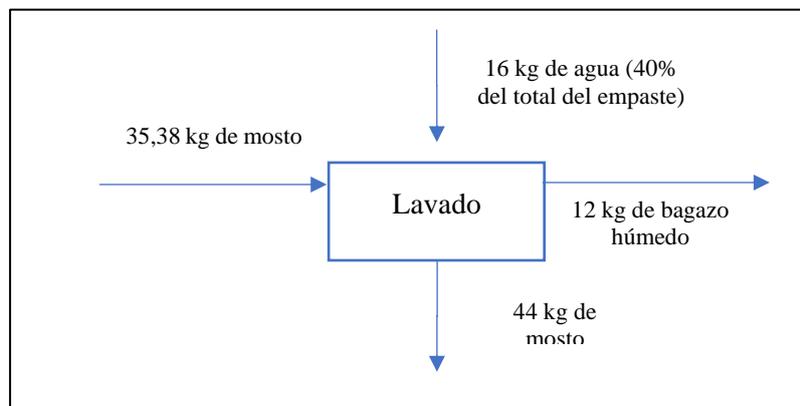


Ilustración 38-3: Balance de masa de la etapa de lavado de granos

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{(44)}{(35,38 + 16)} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 85,64$$

3.7.1.3. Cocción

Para la determinación del mosto de salida previo a la fermentación se utiliza para la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$m_{\text{lúpulo}} + m_{\text{mostoL}} = m_{\text{mostoS}} + m_{\text{H2O evaporada}}$$

$$m_{\text{mostoS}} = 0,002 \text{ kg} + 44 \text{ kg} - 5,34 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mostoS}} = 38,66 \text{ kg}$$

Donde:

$m_{\text{lúpulo}}$: Masa del lúpulo (kg)

m_{mostoL} : Masa del mosto después del lavado (kg)

m_{mostoS} : Mosto de salida para la fermentación (kg)

$m_{\text{H2O evaporada}}$: Agua evaporada (kg)

- **Rendimiento**

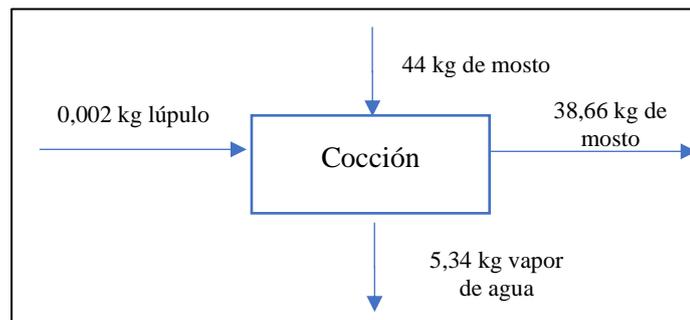


Ilustración 39-3: Balance de masa en la etapa de cocción

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{38,66}{44 + 0,002} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 87,86$$

- **Eficiencia del proceso de maceración**

Para saber la eficiencia se utilizará la siguiente fórmula (Chalco & Salazar, 2021, pp. 15-88)

$$\eta = \frac{(G.O - 1) * 0,25 * V_{MOSTO} * 1000}{M_{MALTA} * R_{MALTA}}$$

$$\eta = \frac{(1,057 \text{ g/ml} - 1) * 0,25 * 38,66 \text{ L} * 1000}{10000 \text{ g} * 81 \%}$$

$$\eta = \frac{(0,057 \text{ g/ml}) * 0,25 * 38,66 \text{ L} * 1000}{10000 \text{ g} * 81 \%}$$

$$\eta = \frac{(57 \text{ g/L}) * 0,25 * 38,66 \text{ L} * 1000}{10000 \text{ g} * 81 \%}$$

$$\eta = 0,70$$

Donde:

η : Eficiencia del mosto

G_O : Gravedad específica del mosto ($\frac{\text{g}}{\text{ml}}$)

Vf_{mosto} : Volumen final del mosto (L)

R_{malta} : Rendimiento de la malta seleccionada (Malta Pilsen) Anexo B

3.7.1.4. Fermentación

Para la obtención de la masa de cerveza obtenida previo a la fermentación se utiliza la siguiente fórmula (Tapia & Valle, 2021, p. 117).

$$m_{mostoS} + m_{levadura} = m_{bio} + m_{cerveza}$$

$$m_{cerveza} = 0,023 \text{ kg} + 38,66 \text{ kg} - 2 \text{ kg}$$

$$m_{cerveza} = 36,68 \text{ kg}$$

Donde:

$m_{levadura}$: Masa de la levadura (kg)

m_{mostoS} : Mosto de salida para la fermentación (kg)

m_{bio} : Masa de la biomasa (kg)

$m_{cerveza}$: Masa de cerveza obtenida posterior a la fermentación (kg)

- **Rendimiento**

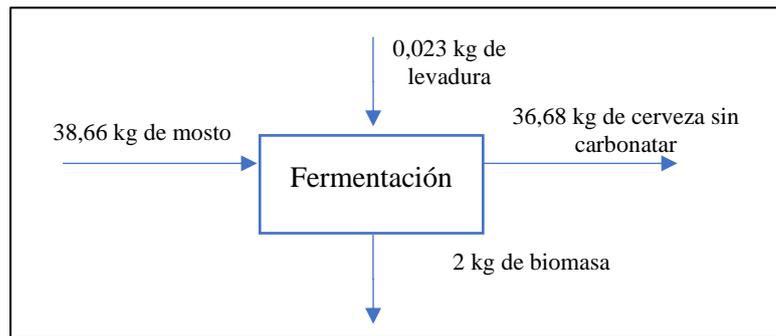


Ilustración 40-3: Balance de masa de la etapa de fermentación

Realizado por: Cando, H.: & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{36,68}{38,66 + 0,023} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 94,82$$

3.7.1.5. Maduración

Para la obtención de cerveza madurada previo a la carbonatación se utiliza la siguiente fórmula.

$$m_{\text{cerveza}} = m_{\text{madurada}} + m_{\text{bio}}$$

$$m_{\text{madurada}} = m_{\text{cerveza}} - m_{\text{bio2}}$$

$$m_{\text{madurada}} = 36,68 \text{ kg} - 0,75 \text{ kg}$$

$$m_{\text{madurada}} = 35,93 \text{ Kg}$$

Donde:

m_{cerveza} : Masa de la cerveza obtenida posterior a la fermentación (kg)

m_{madurada} : Masa de la cerveza madurada (kg)

m_{bio2} : Masa de la biomasa (kg)

- **Rendimiento**

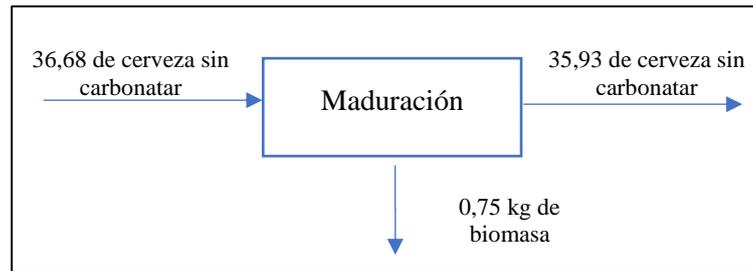


Ilustración 41-3: Balance de masa de la etapa de maduración

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{35,93}{36,68} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 97,96$$

3.7.1.6. Filtración

Para la determinación de la masa del mosto filtrado se utiliza la siguiente fórmula.

$$E = S$$

$$m_{\text{cerveza}} = m_{\text{mostof}} + m_{\text{bio3}}$$

$$m_{\text{mostof}} = m_{\text{mostoS}} - m_{\text{bio3}}$$

$$m_{\text{mostof}} = 35,93 \text{ kg} - 1,00 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mostof}} = 34,93 \text{ kg}$$

Donde:

m_{mostof} : Mosto filtrado (kg)

m_{bio3} : Masa de la biomasa (kg)

m_{cerveza} : Masa de cerveza obtenida posterior a la fermentación (kg)

- **Rendimiento**

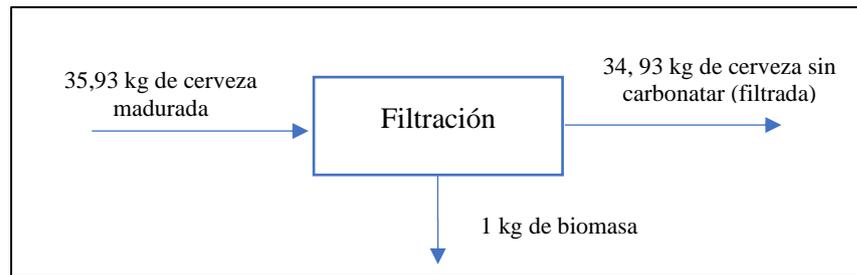


Ilustración 42-3: Balance de masa en la etapa de fermentación del mosto

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{34,93}{35,93} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 97,92$$

3.7.1.7. Carbonatación

Para la determinación de cerveza carbonatada se utiliza la siguiente fórmula (Calva & Venegas, 2021, pp. 25-89).

$$m_{\text{mosto } f} + m_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2 \text{ desp}} + m_{\text{cerveza carbonatada}}$$

$$m_{\text{cerveza carbonatada}} = 0,26 \text{ kg} + 34,93 \text{ kg} - 0,025 \text{ kg}$$

$$m_{\text{cerveza carbonatada}} = 35,17 \text{ kg}$$

Donde:

$m_{\text{mosto } f}$: mosto filtrado (kg)

$m_{\text{cerveza carbonatada}}$: masa de cerveza carbonatada (kg)

$m_{\text{CO}_2 \text{ desp}}$: masa de CO₂ desprendido (kg)

m_{CO_2} : masa de CO₂ (kg)

- **Rendimiento**

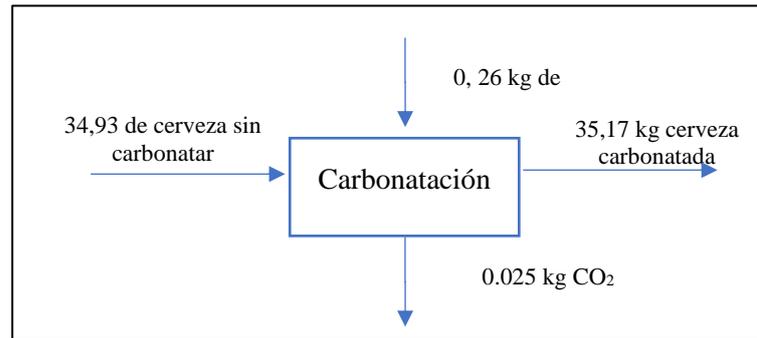


Ilustración 43-3: Balance de masa de la etapa de carbonatación

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{35,17}{34,93 + 0,26} * 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = 99,94$$

3.7.1.8. Embotellado

- **Cálculo de la cantidad de botellas de cerveza (unidad)**

Durante el proceso se obtuvo 35,17 kg de cerveza carbonatada, al momento de embotellar se obtuvo un desperdicio de 1 kg.

La capacidad de la botella ámbar es de 330 ml

$$\text{Cant. bolletas de cerveza} = \frac{\text{Volumen de cerveza carbonata obtenida (ml)}}{\text{capacidad de la botella ámbar}}$$

$$\text{Cant. bolletas de cerveza} = \frac{34170 \text{ ml}}{330 \text{ ml}}$$

$$\text{Cant. bolletas de cerveza} = 103 \text{ unidades}$$

3.7.2. Balance de energía

3.7.2.1. Macerador

Para determinar el calor cedido y ganado se aplica la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}Qg &= mCp\Delta T \\Qg &= m_{mosto}Cp(T_f - T_i) \\Qg &= 34,59 \text{ Kg}(4,182 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} * \text{K}})(340 - 293)\text{K} \\Qg &= 6.798,80 \text{ KJ} \\Qc &= -6.798,80 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Donde:

Q_g : Calor ganado(KJ)

Q_c : Calor cedido (KJ)

m_{mosto} : Masa del mosto del lavado (kg)

ΔT(T_f - T_i) : Diferencia de temperatura (K)

C_p : Capacidad calorífica del agua al ambiente ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg K}}$)

- **Masa de vapor**

Para determinar la masa de vapor necesaria en el macerador se utiliza la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}Qc &= V_1 * \lambda \\V_1 &= \frac{Qc}{\lambda} \\V_1 &= \frac{6.798,80 \text{ KJ}}{2257 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}} \\V_1 &= 3,012 \text{ kg}\end{aligned}$$

Donde:

λ : Calor latente del agua ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$)

Q_c : Calor cedido (KJ)

V₁ : Masa de vapor necesaria en el macerador (kg)

3.7.2.2. Cocción

Para determinar el calor ganado y cedido en la etapa de cocción se aplica la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}Q_g + Q_c &= 0 \\Q_g &= -Q_c \\Q_g &= m_{\text{mostos}} * \Delta T * C_p \\Q_g &= 41,04 \text{ kg} (368 - 351)K(4,195 \frac{\text{KJ}}{\text{kg K}}) \\Q_g &= 2.926,7 \text{ KJ} \\Q_c &= -2.926,7 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Donde:

m_{mostos} : Mosto de salida para la fermentación (kg)

- **Masa de vapor necesaria en la etapa de cocción**

Para determinar la masa de vapor necesaria en la etapa de cocción se aplica la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}V_2 &= \frac{Q_c}{\lambda} \\V_2 &= \frac{2.926,7 \text{ KJ}}{2.257 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}} \\V_2 &= 1,296 \text{ kg}\end{aligned}$$

3.7.2.3. Fermentación

Para determinar el calor cedido y ganado se aplica la siguiente fórmula (Ortega, 2016, pp. 27-84).

$$\begin{aligned}Q_g &= mC_p\Delta T \\Q_g &= m_{\text{mostos}}C_p(T_f - T_i) \\Q_g &= 39,04 \text{ kg} (4,205 \frac{\text{KJ}}{\text{kg * K}})(298 - 293)K \\Q_g &= 820,816 \text{ KJ} \\Q_c &= -820,816 \text{ KJ}\end{aligned}$$

Donde:

Q_g : Calor acumulado (KJ)

Q_g : Calor ganado (KJ)

Q_c : Calor cedido (KJ)

m_{mosto} : Masa del mosto de salida al fermentador (kg)

$\Delta T(T_f - T_i)$: Diferencia de temperatura (K)

C_p : Capacidad calorífica del agua al ambiente ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg K}}$)

3.7.3. Balance General de masa de la línea repotenciada

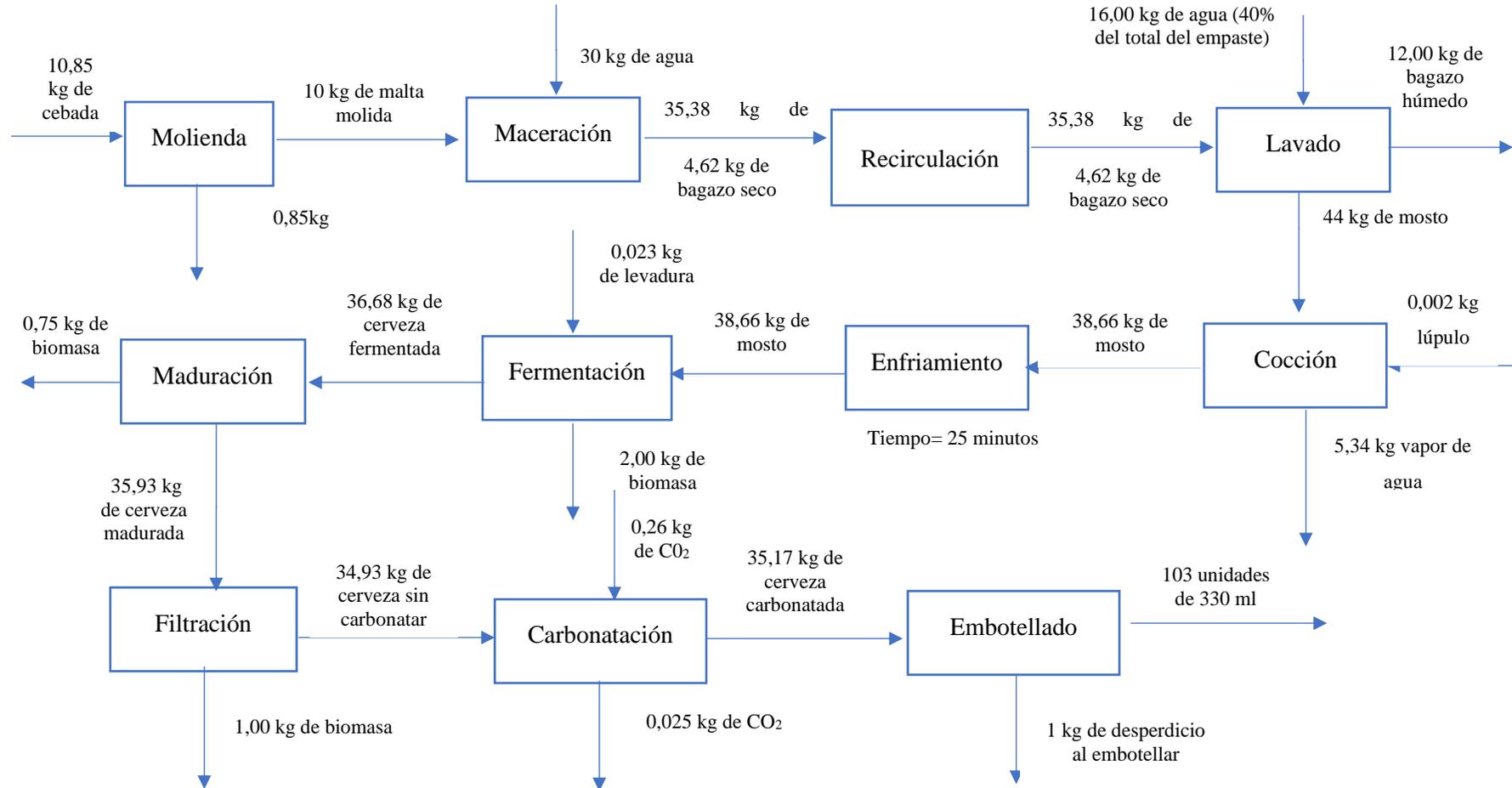


Ilustración 44-3: Balance general de la línea repotenciada

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Con la implementación del molino, olla de cocción, enfriador de placas, llenador a contra presión y optimización de la etapa de fermentación y carbonatación; el proceso de producción de cerveza artesanal mejoró en cuanto a calidad del producto, rendimiento y eficiencia de los procesos disminuyendo pérdidas del producto, esto se evidenció mediante la elaboración de cerveza artesanal de un lote de producción de 40 kg de materia prima en donde se obtuvo un lote de 35,17 kg de cerveza.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de los análisis de laboratorio obtenidos de la cerveza elaborada en la línea base

4.1.1. Pruebas físicas y químicas

Tabla30-4: Parámetros físicas y químicas de la cerveza obtenida en la línea base

Pruebas	Unidades	Método de análisis	Mínimo	Máximo	Resultados	
Grados alcohólicos	%	INEN2322	1.0	10.0	5.70	C
Acidez Expresado como ácido láctico	%	INEN 2323	-	0.3	0.38	NC
Contenido de hierro	mg/l	INEN 2326	-	0.2	0.08	C
Contenido de cobre	mg/l	INEN 2327	-	1.0	0.05	C
Contenido de zinc	mg/l	INEN 2328	-	1.0	0.13	C
Contenido de arsénico	mg/l	INEN 2329	-	0.1	<0.04	C
Contenido de plomo	mg/l	INEN 2330	-	0.1	0.06	C
pH	Unid.	INEN 2325	3.5	4.8	3.30	NC
Carbonatación	Volúmenes de CO₂	INEN 2324	2.2	3.5	2.18	NC

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.1.2. Parámetros microbiológicos

Tabla 31-4: Parámetros microbiológicos de la cerveza obtenida en la línea base

Pruebas	Unidades	Métodos de análisis	Mínimo	Máximo	Resultados	
Mohos y levaduras	UFC/ml	NEN 1529-10	-	10	10	C
Anaerobios mesófilos	UFC/ml	INEN 1529-5	-	10	9	C

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.1.3. Pruebas organolépticas

Tabla 32-4: Pruebas organolépticas de la cerveza obtenida en la Línea base

Pruebas	Resultado
Color	Café oscuro turbio
Olor	Característico
Sabor	Amargo
Transparencia	Presenta turbiedad
Aspecto	Presencia de sedimentos

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

La presencia de turbiedad presente en la cerveza se debe principalmente a que la línea base, al no tener un filtro para eliminar todos los sedimentos resultantes de la filtración y a que la etapa de enfriamiento se demora entre 2 a 3 horas generándose la producción de proteínas y polifenoles que enturbian la cerveza.

4.1.4. Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza

Tabla 33-4: Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza en la línea base

Pruebas	Unidades	Métodos de análisis	Límite	Resultados	
Coliformes totales	UFC/ml	Siembra en masa	Ausencia	100	NC
Aerobios mesófilos	UFC/ml	Siembra en masa	Ausencia	1000	NC

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.2. Resultados de la cerveza elaborada en la línea repotenciada

4.2.1. Pruebas físicas y químicas

Tabla 34-4: Parámetros físicos y químicos de la cerveza obtenida en la línea repotenciada

Pruebas	Unidades	Método de análisis	Mínimo	Máximo	Resultados	
Grados alcohólicos	%	INEN2322	1.0	10.0	6.50	C
Acidez Expresado como ácido láctico	%	INEN 2323	-	0.3	0.10	C
Contenido de hierro	mg/l	INEN 2326	-	0.2	0.09	C
Contenido de cobre	mg/l	INEN 2327	-	1.0	0.04	C
Contenido de zinc	mg/l	INEN 2328	-	1.0	0.14	C
Contenido de arsénico	mg/l	INEN 2329	-	0.1	<0.04	C
Contenido de plomo	mg/l	INEN 2330	-	0.1	0.06	C
pH	Unid.	INEN 2325	3.5	4.8	4.20	C
Carbonatación	Volúmenes de CO ₂	INEN 2324	2.2	3.5	3.20	C

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.2.2. Parámetros microbiológicos

Tabla 35-4: Parámetros microbiológicos de la cerveza obtenida en la línea base

Pruebas	Unidades	Métodos de análisis	Mínimo	Máximo	Resultados	
Mohos y levaduras	UFC/ml	INEN 1529-10	-	10	AUSENCIA	C
Anaerobios mesófilos	UFC/ml	INEN 1529-5	-	10	AUSENCIA	C

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.2.3. Pruebas organolépticas

Tabla 36-4: Pruebas organolépticas de la cerveza obtenida en la Línea Repotenciada

Pruebas	Resultado
Color	Café claro
Olor	Floral con notas de caramelo y frutas tropicales
Sabor	Amargo
Transparencia	No presenta turbiedad
Aspecto	Normal libre de material extraño

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.2.4. Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza

Tabla 37-4: Pruebas para medir la inocuidad de la cerveza en la línea base

Pruebas	Unidades	Métodos de análisis	Limites	Resultados	
Coliformes totales	UFC/ml	Siembra en masa	Ausencia	Ausencia	C
Aerobios mesófilos	UFC/ml	Siembra en masa	Ausencia	Ausencia	C

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.3. Comparación de los parámetros de calidad de la cerveza artesanal de la línea base con la línea repotenciada

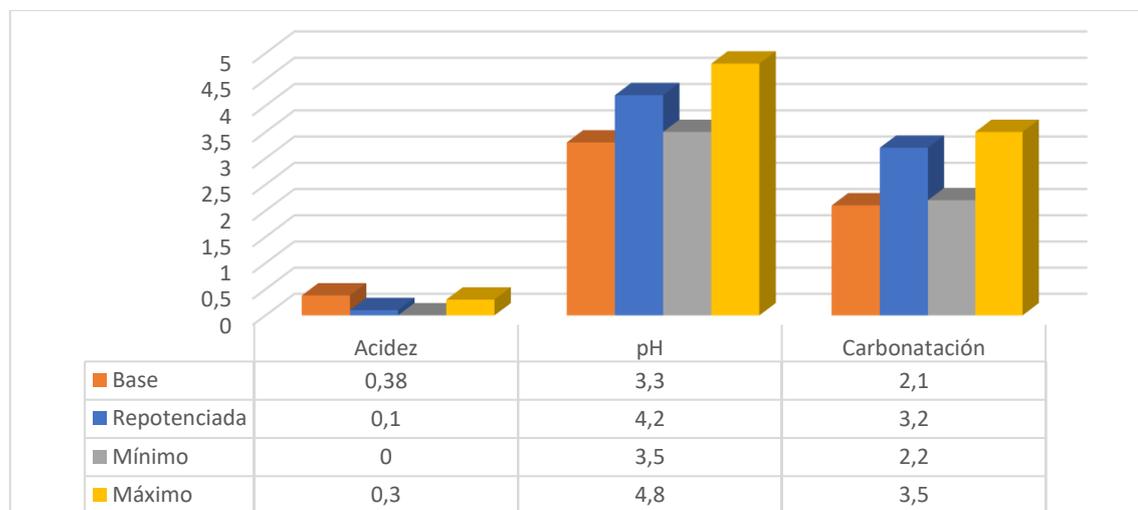


Ilustración 45-4: Comparación de las pruebas físicas-químicas de la línea base y repotenciada

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

En la Ilustración 1-4 se realiza la comparación de los parámetros que se encuentran fuera de norma tomados de la tabla 19-4 correspondiente a la línea base de producción de cerveza artesanal. Estos parámetros son acidez, pH, carbonatación y se los compara con los valores de línea repotenciada citados en la tabla 7-4 y se observa que dichos parámetros consiguen ajustarse a los límites permitidos por la norma INEN 2262:2013; dichas mejoras en el pH de 3.3 a 4.2 y acidez de 0.38 a 0.10 se debe a la optimización en la etapa de fermentación con la implementación de un sello hermético para que el proceso sea completamente anaeróbico, lo que impide la oxidación del etanol que repercute en cervezas con acidez alta y en pH por debajo de la norma .

En cuanto a la etapa de carbonatación también se consigue mejorar el proceso con la implementación de un llenador a contrapresión haciendo que los niveles de dióxido de carbono se ajusten a la normativa desde 2.1 a 3.2; por tanto, logrando cumplir con especificaciones de calidad para cerveza artesanal.

4.4. Comparación de los parámetros microbiológicos de la línea base y repotenciada

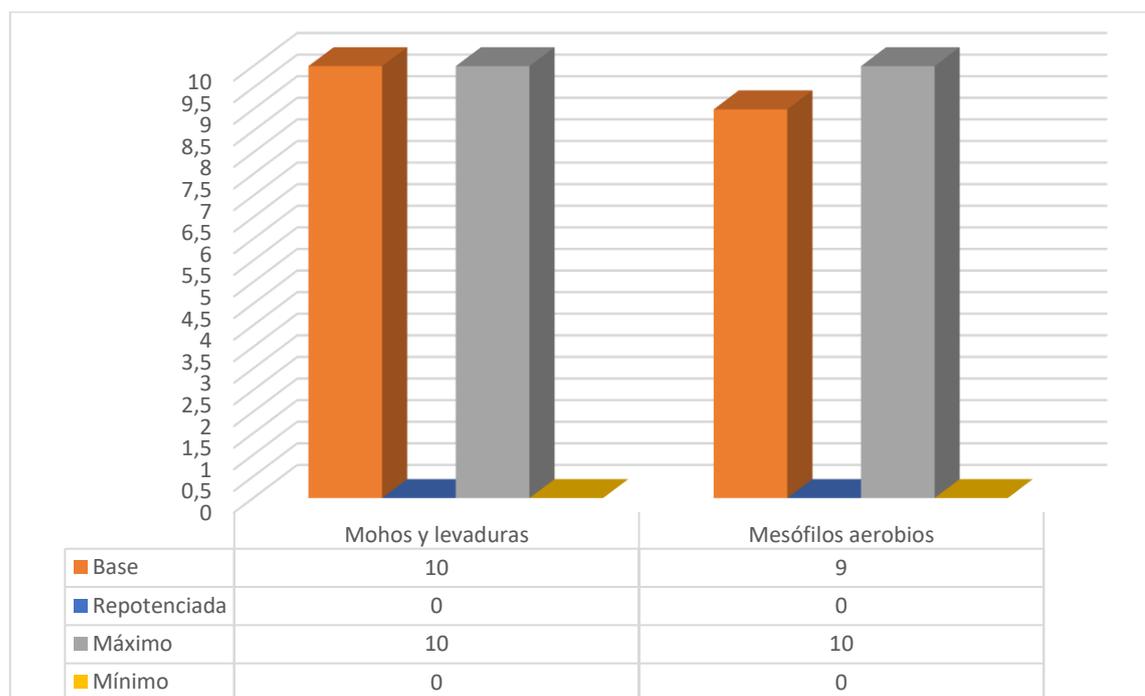


Ilustración 46-4: Comparación de las pruebas microbiológicas de la línea base y repotenciada

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

A continuación, en la Ilustración 2-4 se establece la comparación de las pruebas microbiológicas de las dos líneas de producción, en donde podemos observar que en comparación con la norma se está cumpliendo con los parámetros establecidos para anaerobios mesófilos, mohos y levaduras

4.5. Comparación de la turbiedad en la cerveza de la línea base y repotenciada

Tabla 38-4: Turbiedad en la cerveza de la línea base y repotenciada

Línea base (M ₁)	línea Repotenciada (M ₂)	Comparación
		
En la muestra (M1) se puede observar que la cerveza presenta turbidez, debido a las levaduras en suspensión que no han sido controladas en la etapa de filtración y por la combinación de proteínas y polifenoles en el enfriamiento del mosto.	En la muestra (M2) se puede determinar que no existe turbiedad en la cerveza, gracias a las mejoras en los procesos de filtración y enfriado del mosto, ayudando a eliminar la mayor cantidad de partículas en suspensión.	Al comparar las cervezas obtenidas tanto de la línea base como en la línea rediseñada, se observa una cerveza más clara y libre de partículas, debido a las mejoras realizadas en los procesos.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.6. Comparación de las pruebas de inocuidad

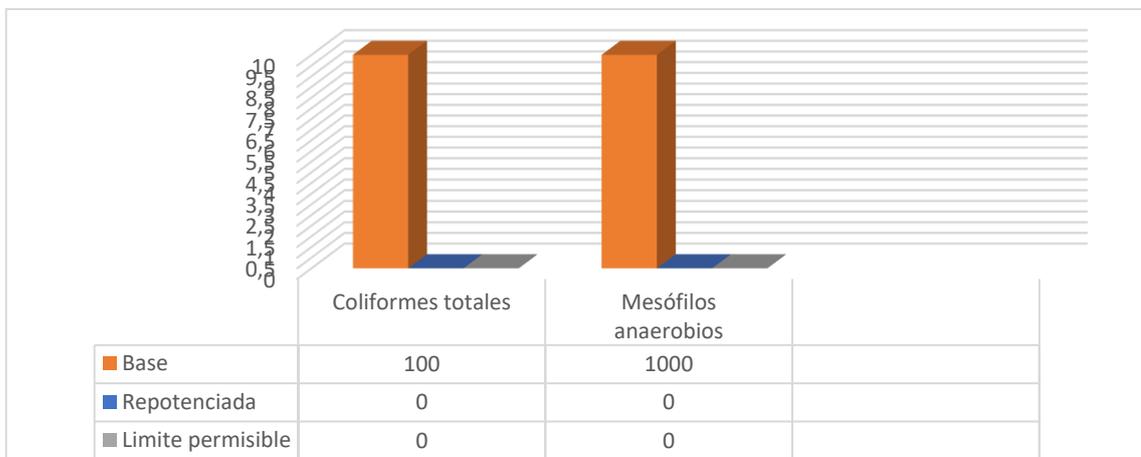


Ilustración 47-4: Comparación de los parámetros de inocuidad de la línea base y la línea repotenciada.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

En la Ilustración 3-4 se observa que la cerveza elaborada en la línea base presenta agentes contaminantes fuera de norma con un valor de 50 UFC para coliformes totales y 1000 UFC para aerobios mesófilos que son indicadores de mala calidad; por el contrario, la cerveza elaborada en la línea repotenciada no tiene la presencia de estos microorganismos, cumpliendo así con los valores establecidos para medir la inocuidad de un producto y convirtiéndolo en un producto seguro para el consumo humano.

Esta mejora se consiguió gracias a que en la etapa de enfriamiento se implementó un intercambiador de placas para reducir el tiempo de enfriamiento de 3 horas a 20 minutos y con ello minimizar a cero el riesgo de contaminación por microorganismos presentes en el ambiente.

4.7. Balances de masa de la línea base y repotenciada

Tabla 39-4: Resultados de los balances de masa de la línea base y repotenciada

Entrada (kg)	Proceso	Salida(kg)
Línea Base N/A	Molienda de la malta	N/A
Repotenciada 10,85 kg		10 kg
Línea Base 40 kg	Maceración	34,62 kg
Repotenciada 40 kg		35,38 kg
Línea Base 34,62 kg	Lavado	42 kg
Repotenciada 35,38 kg		44 kg
Línea Base 42 kg	Cocción	36,64 kg
Repotenciada 44 kg		38,66 kg
Línea Base 36,64 kg	Enfriamiento	36,64 kg
Repotenciada 38,66 kg		38,66 kg
Línea Base 36,64 kg	Fermentación	33,66 kg
Repotenciada 38,66 kg		36,68 kg
Línea Base 33,66 kg	Maduración	32,16 kg
Repotenciada 36,68 kg		35,93 kg

Línea Base	N/A	Filtración	N/A
Repotenciada	35,93 kg		34,93 kg
Línea Base	32,16 kg	Carbonatación	32,40 kg
Repotenciada	34,93 kg		35,17 kg
Línea Base	N/A	Embotellado	N/A
Repotenciada	35,17 kg		103 unidades

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.8. Rendimientos obtenidos dentro del proceso

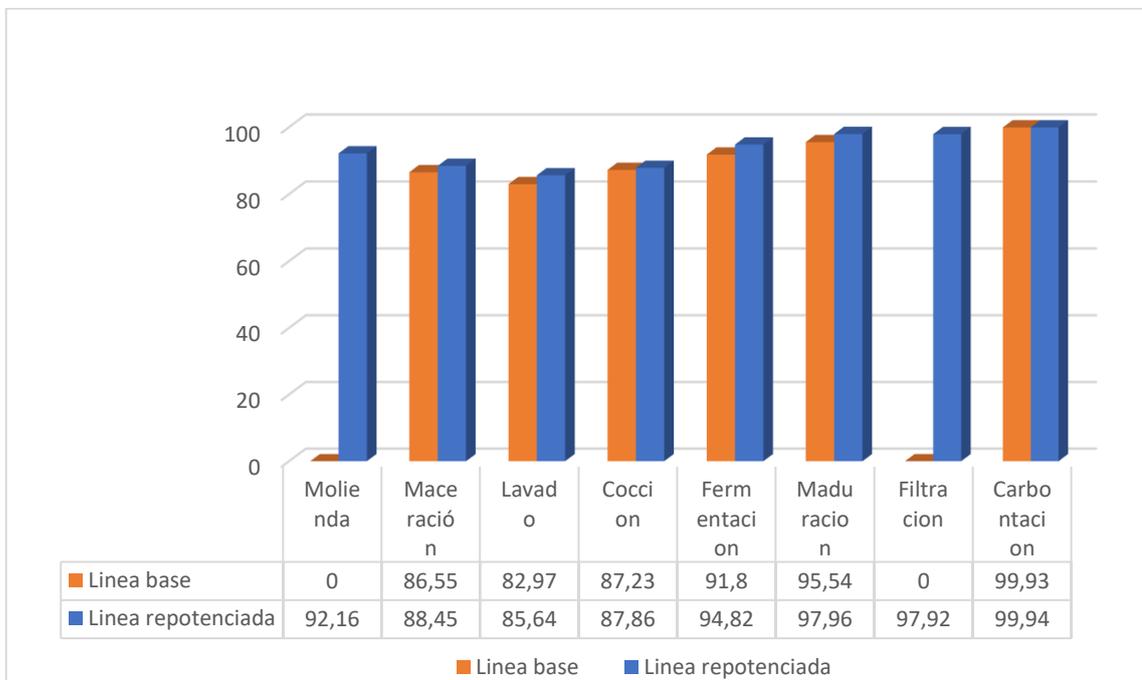


Ilustración 48-4: Comparación de los rendimientos.

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

Tabla 40-4: Diferencias de los rendimientos

Molienda	Maceración	Lavado	Cocción	Fermentación	Maduración	Filtración	Carbonatación
92.16	1.90	2.67	0.63	3.20	2.42	97.92	0.01

Realizado por: Cando, H.; Conterón, L. 2023

En la Ilustración 4-4 se puede observar un alto rendimiento en la línea repotenciada, con un promedio total del 93 % y de la línea base un 85 %, teniendo un mayor rendimiento en los procesos de maceración, lavado, fermentación y maduración, debido al rediseño e implementación de

equipos, teniendo un producto con mejores características en cuanto a turbidez y mayor calidad en cuanto a acidez, pH e inocuidad.

4.9. Eficiencia en el proceso de maceración de la línea base y repotenciada

Tabla 41-4: Valores de eficiencia

Línea base	Línea repotenciada
0,56	0,70

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

La eficiencia en los procesos de maceración y cocción del mosto aumentó de manera notable del 56 % al 70 %, ya que al aumentar un molino de rodillos y una tercera olla se consigue obtener mejores resultados al extraer la mayor cantidad de azúcares de la malta, por lo general es ideal tener eficiencias del 60 % al 80 % (Maltosaa, 2019, p. 1). La eficiencia viene dada por el rendimiento de la malta, gravedad específica y el volumen del mosto antes de la fermentación.

4.9.1. Resultados en el proceso de enfriamiento del mosto

Tabla 42-4: Equipos utilizados en la etapa de enfriamiento

	Línea base	Línea repotenciada
Intercambiador de calor	Serpentín	20 placas
Tiempo de enfriamiento	180 minutos	30 minutos
Temperatura de salida del mosto (C)	25	25

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

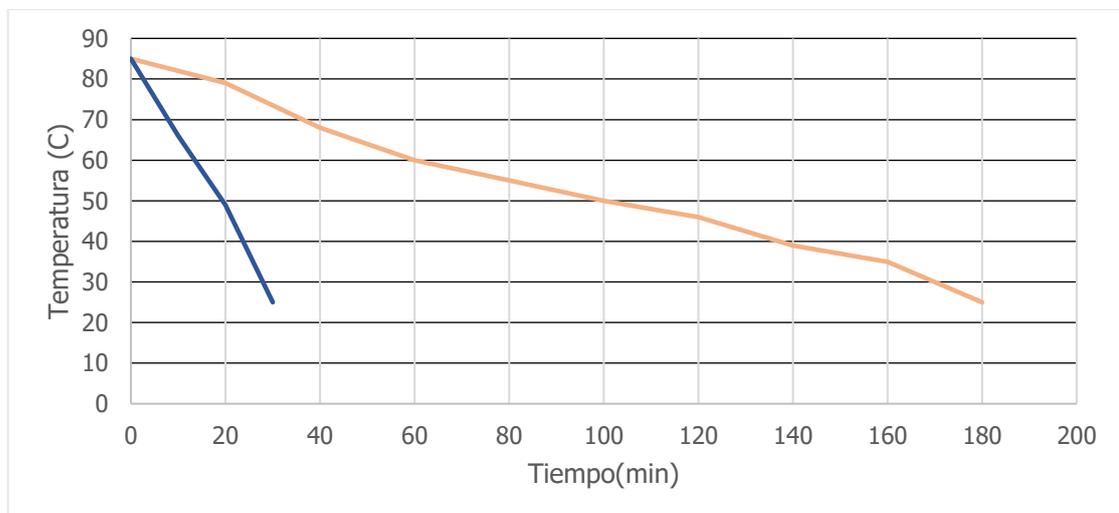


Ilustración 49-4: Comparación de los métodos de enfriamiento

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

En la Ilustración 5-4 se puede establecer la curva de enfriamiento Tiempo vs Temperatura, donde se utilizan dos métodos para enfriar el mosto: por placas y por serpentín, ambos métodos iniciaron con una temperatura de 85 °C, evidenciando una mayor rapidez de enfriamiento a través del intercambiador de calor por placas con un tiempo estimado de 25 minutos, lo que ayuda a que no se contamine y no se enturbie la cerveza.

4.10. Resultados del diseño y dimensionamiento de los equipos

4.10.1. Implementación del molino de rodillos

Tabla 43-4: Especificaciones del molino manual de dos rodillos

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Tolva		210 x 225 x 220	mm
Alto de la tolva	H	270	mm
Altura base en acero	B	50	mm
Coefficiente de fricción	μ	0,4360	
Ángulo de separación entre rodillos	A	47,152	
Diámetro de los rodillos	D_r	32	mm
Longitud de acero de contacto	L	0,8	mm
Rendimiento	Q	50	kg/h
Longitud de los rodillos	L	126	mm

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.10.2. Implementación de un intercambiador de calor por placas

Tabla 44-4: Especificaciones del intercambiador de calor por placas

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Caudal del fluido caliente (mosto)	\dot{m}_M	0,082	[kg/s]
Caudal del fluido frío (agua)	\dot{m}_A	0,140	[kg/s]
Diferencias logarítmicas de temperatura	ΔT_m	14	[C - K]
Número efectivo de placas	N_e	18	
Longitud efectiva entre puertos	L_{eff}	0,15	m
Paso por placas	P	$2,7 \times 10^{-3}$	m
Espesor de la placa	t	0,0003	mm
Longitud de placas comprimidas	L_c	0,054	m
Diámetro de puertos	D_p	0,02032	m

Área efectiva	A_e	0,216	m
Área de transferencia de una placa	A_l	0,012	m ²
Área proyectada de una placa	A_{1p}	0,00979	m ²
Factor de ampliación	\emptyset	1,20	
Coefficiente de transferencia por convección	h_M y h_A	3719,63 y 4448,22	w/ m ² K
Coefficiente global de transferencia limpio	U_C	1946,84	w/ m ² K
Coefficiente global de transferencia limpio	U_f	1144,62	w/ m ² K
Factor de limpieza	CF	0,588	
Factor de seguridad	C_s	0,588	

Realizado por: Cando, H.; & Conterón, L. 2023

4.10.3. Rediseño del falso fondo

Tabla 45-4: Especificaciones del falso fondo

Parámetro	Diseño	Rediseño	Diferencia
Diámetro (m)	0,392	0,396	0,004
Volumen (l)	2,463	3,694	1,230
Área (m ²)	0,14	0,16	0,02
Altura (m)	0,020	0,030	0,01

Elaborado por: Cando, H.; Conterón, L. 2023

4.10.4. Diseño de una olla de cocción

Tabla 46-4: Especificaciones del diseño de una olla de cocción

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Volumen	V	113,14	m
Altura	h	0,56	m
Radio	r	0,245	m
Área	A_1	1,0505	m ²

Elaborado por: Cando, H.; Conterón, L. 2023

4.10.5. Cuadro resumen de los equipos implementados

Tabla 47-4: Equipos utilizados para el rediseño de la línea de cerveza

Equipo	Tipo de material utilizado	Medidas	Función
Molino de rodillos	Acero Inoxidable AISI 304L	12,7 x 7,3 cm (Rendimiento de 50 kg/h)	Adecuado para molturar malta de cebada con abertura para rolos regulables según tipo de granos, con maxi tolva de aluminio y equipado con manivela.
Rodillos		12,6 de largo x Ø 3,2 cm	
Tolva	Aluminio	21 x 22 cm (espesor)	
Olla de hervido	Acero Inoxidable AISI 304L	40 x 93 cm (2 mm de espesor) capacidad 100 L	Calentar el agua posterior al proceso de maceración y mejorar la capacidad de producción.
Enfriador de placas	Acero Inoxidable AISI 304L (con 99,9 % cobre soldado)	19,5 x 4,83 cm	Enfriar el mosto que sale de la olla de cocción y bajar hasta una temperatura ideal para inocular las levaduras.
Llenador a contrapresión	Acero Inoxidable AISI 304L	39,88 cm de largo con llave de doble vía de 0.24 "	Permite que el CO ₂ y la cerveza fluyan por el mismo tubo de acero inoxidable, directamente al fondo de la botella.

Realizado por: Cando, H.; Conterón, L. 2023

4.11. Propuestas

En base al estudio realizado se logra identificar los inconvenientes presentes en la línea base de la producción de cerveza artesanal para optimizar y rediseñar los procesos existentes; por ello se presenta a continuación la propuesta utilizada con la que se consiguió ajustar los parámetros que se encontraban fuera de norma y obtener un producto de calidad apta para el consumidor.

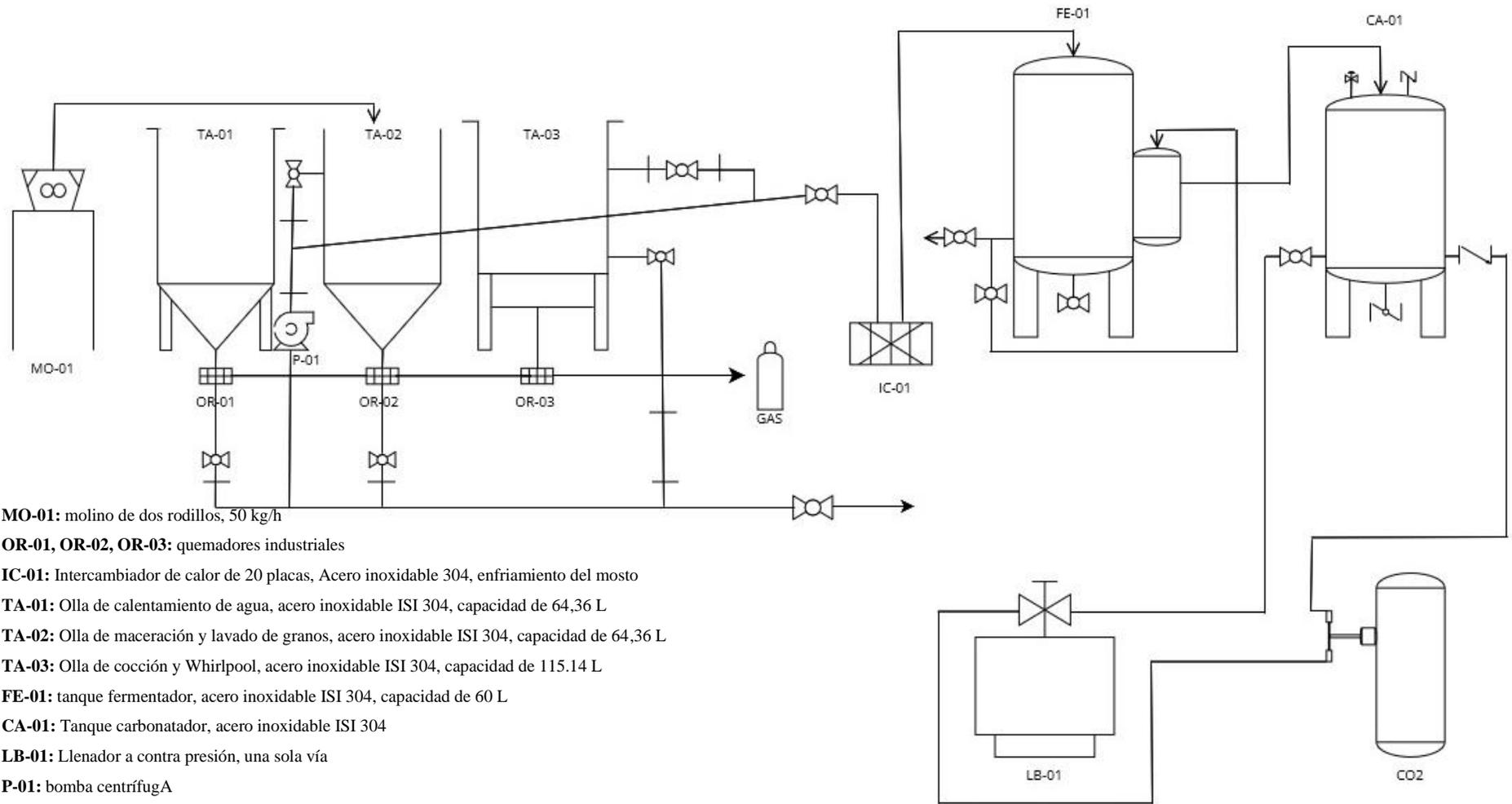
Tabla 48-4: Propuesta realizada a la línea base

LÍNEA BASE	LÍNEA REPOTENCIADA
Molienda	
No cuenta con la etapa de molienda	Se implementó la etapa de molienda con lo que se consigue: -Mejorar el proceso de separado y lavado de grano, ya que la cáscara actúa como un filtro natural. -Aprovechar los azúcares a obtener
Cocción	
Cuenta con dos ollas para la etapa de: -Maceración -Cocción	Se incorporó una tercera olla para el hervido del agua con lo que se consigue: -Obtener mayor flexibilidad con el recirculado, lavado de granos, temperaturas de maceración y cocción del mosto y en el diseño de la receta.
Filtración	
-No cuenta con técnicas como el Wirpool -No cuenta con un proceso de filtrado	Se implementó la técnica de Whirpool y un filtro lavable con lo que se consigue: -Eliminar las partículas sólidas del mosto y la mayor cantidad de sedimento, obteniendo cervezas más limpias.
Enfriamiento	
No cuenta con un buen proceso de enfriamiento lo que genera: -Tiempos de enfriamiento largos (2 a 3 horas) -Que el mosto se exponga más tiempo a agentes externos presentes en el ambiente afectando la inocuidad y el tiempo de vida útil de la cerveza.	Se implementó un sistema de enfriamiento más eficiente con lo que se consigue: -Disminuir el tiempo de enfriamiento a 20 minutos evitando que se contamine -Evitar la formación de proteínas y polifenoles que enturbian la cerveza
Fermentación	
El proceso de fermentación no cuenta con un sellado hermético, lo que predispone a que: -El proceso no se lleve a cabo en condiciones completamente anaeróbicas, afectando directamente a la acidez de la cerveza y a la obtención de un grado alcohólico bajo.	Se diseñó una tapa con cierre hermético para garantizar que la fermentación se lleve a cabo en condiciones ausentes de oxígeno, lo que beneficia: -Que la fermentación alcohólica sea completa. -Evitar la oxidación del etanol, lo que repercute en una elevada acidez de la cerveza, pH fuera de los valores establecidos en la norma y bajo contenido de alcohol.
Envasado	

<p>No cuenta con un llenador y el proceso de envasado se llevaba a cabo desde el carbonatador lo que ocasiona:</p> <ul style="list-style-type: none">-Pérdidas del producto-Riesgos de oxidación en la cerveza por el contacto con el oxígeno.	<p>Se repotenció la fase de carbonatación con la implementación de un llenador a contrapresión permitiendo que la cerveza carbonatada se envase con un mínimo de espuma y pérdida de CO₂.</p>
---	--

Realizado por: Cando, H.; Conterón, L. 2023

4.11.1. Diagrama P&ID de tuberías y accesorios de la línea repotenciada



MO-01: molino de dos rodillos, 50 kg/h

OR-01, OR-02, OR-03: quemadores industriales

IC-01: Intercambiador de calor de 20 placas, Acero inoxidable 304, enfriamiento del mosto

TA-01: Olla de calentamiento de agua, acero inoxidable ISI 304, capacidad de 64,36 L

TA-02: Olla de maceración y lavado de granos, acero inoxidable ISI 304, capacidad de 64,36 L

TA-03: Olla de cocción y Whirlpool, acero inoxidable ISI 304, capacidad de 115.14 L

FE-01: tanque fermentador, acero inoxidable ISI 304, capacidad de 60 L

CA-01: Tanque carbonatador, acero inoxidable ISI 304

LB-01: Llenador a contra presión, una sola vía

P-01: bomba centrífuga

Ilustración 50-4: Diagrama P&ID de la línea repotenciada

Realizado por: Cando, H.; Conterón, L. 2023

4.12. Análisis y discusión de resultados

Se realizó el rediseño de la línea base de cerveza artesanal, con la propuesta de aprovechar los equipos existentes, buscando alternativas y técnicas para su optimización, rediseño e implementación de equipos que ayuden a mejorar el proceso y así obtener un producto que cumpla con las especificaciones de calidad citadas en la norma INEN 2262: 2013.

La línea de cerveza artesanal repotenciada cuenta con un molino de dos rodillos, seguido de tres ollas para las etapas de hervido del agua, maceración, cocción y enfriamiento del mosto. Además del tanque de fermentación, el tanque de carbonatación, filtro y por último el llenador de botellas a contra presión; siendo las variables a controlar las temperaturas y el tiempo en cada una de ellas. La capacidad de producción de la línea completa es de 60 litros y el material utilizado en el rediseño fue el acero inoxidable AISI 304L, siendo el idóneo en la industria alimenticia gracias a que presenta resistencia a la oxidación y corrosión.

En los procesos de maceración, lavado, enfriamiento, fermentación y maduración se obtuvo un rendimiento del 90,5 % como se puede observar en la Ilustración 4-4, debido a la optimización de los procesos antes mencionados e implementación de equipos como: molino, olla de hervido, filtro lavable y llenador a contra presión.

Los cálculos obtenidos de la eficiencia en los procesos de maceración y cocción del mosto se pueden observar en la Tabla 13-4 con un valor del 70 % teniendo una mayor eficiencia en comparación con el proceso anterior de 56 %; aumentando por tanto la capacidad de producción y también mejorando la calidad en la cerveza.

De acuerdo a los resultados fisicoquímicos obtenidos en las Tablas 1-4 y 6-4, encontramos que la línea repotenciada presenta mejoras en las pruebas de pH con un valor de 4,20, acidez de 0,1 y carbonatación de 3,20 volúmenes de CO₂ encontrándose dentro de norma, a diferencia de la cerveza elaborada en la línea base que presentaba valores fuera de norma: pH de 3,30, acidez de 0,38 y carbonatación de 2,20; esta comparación se puede evidenciar en la Ilustración 1-4. Dicha mejora se debe a la implementación de un cierre hermético en el fermentador haciendo que el proceso se lleve a cabo de manera eficiente e impidiendo el ingreso de oxígeno que provoca la oxidación del etanol, dando como resultado lotes de cerveza con pH bajo y alta acidez. En cuanto a los demás parámetros se observa en las Tablas 1-4 y 6-4 que se encuentran dentro de los valores establecidos para bebidas alcohólicas.

Por otro lado las pruebas de inocuidad citadas en las Tablas 5-4 y 9-4 arrojaron que la cerveza elaborada en la línea base presenta contaminación por coliformes totales y aerobios mesófilos, con valores de 50 UFC/ml y 1000 UFC/ml respectivamente; en comparación con la cerveza elaborada en la línea repotenciada que presenta ausencia de dichos microorganismos gracias a disminución del tiempo de enfriamiento de tres horas a 20 minutos, reduciendo de esta forma el riesgo de contaminación por agentes externos (microorganismos presentes en el ambiente)

Finalmente, en las pruebas organolépticas se evidenció una mejora total del producto, pues la misma presenta un color café claro, olor floral con leves notas de caramelo y frutas tropicales, además de un sabor amargo característico y no presenta turbiedad como se puede observar en la Tabla 10-4 ; todas estas características obtenidas fueron gracias a la implementación de la técnica Whirlpool en la olla de cocción del mosto, atrapando la mayor cantidad de sedimento en el fondo de la olla y a la implementación de un filtro lavable que nos ayudó a eliminar partículas en suspensión produciendo cervezas más limpias.

CONCLUSIONES

- Se rediseñó, repotenció e implementó la línea de producción de cerveza artesanal existente en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. El material seleccionado para la construcción de los equipos fue el Acero Inoxidable AISI 304L, puesto que se trata de un producto destinado al consumo humano. Se realizó la implementación de un molino para la trituración de malta, olla de hervido, enfriador de placas para disminuir el tiempo de enfriamiento de 3 horas a 20 minutos, filtro lavable para mejorar la turbiedad de la cerveza y llenador a contrapresión; optimizándose por ende las etapas de cocción del mosto, enfriamiento, fermentación y envasado de la cerveza. Además, se rediseñó el falso fondo en la etapa de maceración, la tapa del tanque de fermentación y las conexiones de tuberías para el traspaso de la bebida, teniendo una conducción óptima del producto. La capacidad de producción de la línea completa es de 60 litros, gracias a que se aprovecha de mejor manera el producto y no existen pérdidas del mismo.
- Se analizó minuciosamente todas las etapas de la línea base, encontrándose fallas e inconvenientes a mejorar en los procesos de maceración, cocción, enfriamiento, fermentación y el envasado de la cerveza; mediante dicho análisis y con la ayuda del método experimental se logró identificar las principales variables de rediseño, las cuales fueron las variables dependientes como: densidad inicial, grados Brix, pH y densidad final. En cuanto a las variables independientes identificadas fueron: temperatura, tiempo y presión con lo que se consiguió obtener un producto de salida deseado con una densidad, pH y grado alcohólico óptimo y por ende mejorando la calidad en la cerveza.
- Se logró realizar los cálculos de ingeniería para el rediseño de la línea de producción incorporando un molino de dos rodillos con un rendimiento de 50 kg/h, con una tolva de 0,27 m de altura, una base de acero de 0,05 m y un ángulo de separación entre los rodillos de $47,15^\circ$; también se diseñó un intercambiador de calor de 20 placas especializado en el enfriamiento rápido del mosto con un espesor de placa de 0,003 mm, una área de transferencia de $0,012\text{ m}^2$ y por último se realizó el diseño de una tercera olla de cocción con una capacidad de 113 L, a la que se incorporó la técnica de Whirlpool, para obtener un proceso completo de hervido, maceración y cocción del mosto.
- En cuanto al rediseño fue necesario realizar un falso fondo de acero inoxidable en la olla de maceración, con un radio de 0,0198 m y un volumen de 3 L; además de una tapa del tanque de fermentación, convirtiéndolo en un proceso totalmente hermético y así impidiendo el ingreso de oxígeno al proceso. Se realizó la adquisición de un filtro lavable de 0,0068 m de diámetro, 0,0026 m de largo con un filtro lavable de 1 micra, para disminuir la concentración de sólidos suspendidos en la cerveza y un llenador de botellas a contrapresión de 0,0365 m de largo, 0,026 de ancho.

- Se logró obtener cerveza artesanal, la misma cumple con los requisitos de calidad basados en la Norma INEN 2262:2013 para bebidas alcohólicas; dicha cerveza presenta valores dentro del rango para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; en cuanto a las características organolépticas, presenta un color café claro, olor floral con leves notas de caramelo y frutas tropicales, además de un sabor amargo característico y no presenta turbiedad.

RECOMENDACIONES

- Antes de usar los equipos se debe limpiar y desinfectar con detergente alcalino y detergente ácido, para evitar contaminar el lote de cerveza y generar pérdidas.
- Para agilizar el proceso de molienda se puede incorporar un taladro, ya que el ancho y diámetro de los rodillos está diseñado para su uso.
- Verificar que el diámetro de abertura de los rodillos sea de 0,5 mm a 0,25 mm para evitar destruir la cáscara de la cebada permitiendo una adecuada maceración.
- Emplear un control automático con el objetivo de aumentar la efectividad de los equipos para facilitar y optimizar el tiempo de toda la línea, además de monitorear y controlar la temperatura en las ollas de hervido, cocción, y maceración.
- Después de utilizar el filtro se debe lavar con percarbonato de sodio y no utilizar más de 2 veces para filtrar la cerveza ya que puede provocar contaminación en el producto.
-

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, M. *Bomba Centrífuga M4000 Bombas de Trásiego* [blog]. 2023. [Consulta: 24 junio 2022]. Disponible en: <http://martinaguirrebombasdetrasiego.com/bomba-centrifuga-inoxidable-m4000/>

ÁLVAREZ, M. Control del proceso de fermentación de cerveza artesanal. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Buenos Aires, Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos, Argentina. 2021. p. 79. [Consulta: 14 marzo 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/128534590-Control-del-proceso-de-fermentacion-de-cerveza-artesanal.html>

API. *Estándares.* [blog]. 2018. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en <https://www.api.org/products-and-services/es/standards>

ARRIACA. *Para qué sirve el lúpulo en la cerveza.* [blog] 2017. [Consulta: 24 septiembre 2022]. Disponible en: <https://arriaca.es/para-que-sirve-el-lupulo/>

ASME. *¿Qué es el código ASME?* [blog]. 2021. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://assa.cl/que-es-el-codigo-asme/>

BARADERO. *Enfriado del mosto* [blog]. 2019. [Consulta: 24 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/enfriado-del-mosto.html>

BARBERY, D. C.; et al. "El marketing de cerveza. Una perspectiva del consumidor guayaquileño" *Revista ESPACIOS*, [en línea], 2018, (Ecuador) 39(37), pp.1-8. [Consulta: 27 febrero 2023]. ISSN 0798-1015. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n37/18393701.html>

BERLANGA, P. Aplicación para el control de una planta de elaboración de cerveza [en línea]. (Trabajo final) (Ingeniería). Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del diseño, Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, España. 2020. pp. 3-10. [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/152745>

BREWMASTERS. *Sistema de Filtrado de Cerveza.* [blog]. 2020. [Consulta: 29 noviembre 2022]. Disponible en: <https://brewmasters.com.mx/shop/sistema-de-filtrado-de-cerveza/>

CALDERONI, J. *El proceso de la Maceración de la cerveza.* [blog]. 2012. [Consulta: 29 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.verema.com/blog/el-blog-del-cervecerero/1005265-proceso-maceracion-cerveza>

CALDERONI, J. *Proceso de Molienda de la Malta para cerveza.* [blog]. 2013. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://www.verema.com/blog/el-blog-del-cervecerero/1000485-proceso-molienda-malta-para-cerveza>

CALVA, C.; & VENEGAS, J. Diseño y construcción de un carbonatador de inyección como parte de una línea de proceso para la producción de cerveza artesanal. [en línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. 2021. pp. 25-89. [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16799>

CASTRO, E. Evaluación de la calidad e inocuidad por contaminación con ocratoxina A de la cerveza artesanal expandida en bares de la ciudad de Cuenca [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Maestría en Toxicología Industrial y Ambiental, Ecuador. 2018. pp. 15-65. [Consulta: 24 de abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35688/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>

CÁRDENAS, P; & GUALDRON, F. Propuesta de mejora en la producción de cerveza artesanal rubia a nivel semi-industrial a base de la unión de dos maltas para la empresa milenaria. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química, Colombia. 2019. pp. 30-140 [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7621/1/6132203-2019-2-IQ.pdf>

CARVAJAL, L.; & INSUASTI, M. Elaboración de Cerveza Artesanal Utilizando Cebada. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y ambientales, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Ecuador. 2010. pp. 89-170 [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/558/1/03%20AGI%20256%20TESIS.pdf>

ÇENGEL, Y. *Transferencia de Calor y Masa Un enfoque práctico* [en línea]. 3ra ed. EE. UU; Mc Graw Hill, 2007. [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: https://nodo.ugto.mx/wp-content/uploads/2018/07/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion-399_471.pdf

CERVEZANÍA. *Descubre la importancia del agua en la elaboración de cerveza.* [blog]. 2022. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible <https://cervezania.com/blog/hacer-cerveza-artesana/importancia-agua-elaboracion-cerveza>

CHALCO, S.; & SALAZAR, R. Diseño y construcción de un equipo de maceración como parte de una línea de proceso para la elaboración de cerveza artesanal. [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. 2021. pp. 15-88. [Consulta: 23 junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16798>

CHECERVEZA. *Carbonatación de la Cerveza.* [blog]. 2019. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://checerveza.com/carbonatacion/>

CICSA. *Quemadores Industriales.* [blog]. 2022. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://cicsa-maxon.com.mx/quemadores-industriales-2/>

CÓRDOBA, J. Diseño térmico y mecánico de un intercambiador de calor de placas. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Universidad de Ibagué, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica, Tolima. 2019. pp. 10-68 [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unibague.edu.co/handle/20.500.12313/1667?locale=es>

DIFERENCIADOR. *Tipos de cervezas: Ale, lager, lambic, híbridas, rubias, rojas, negras, etc* [blog]. 2020. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: *Diferenciador.* <https://www.diferenciador.com/tipos-de-cerveza/>

EBC. *Home Beer.* [blog]. 2022. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://europeanbreweryconvention.eu/>

ENCISO, D. Evaluación de la incorporación de remolacha en la etapa de cocción y fermentación del proceso productivo de cerveza artesanal tipo ale. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química, Colombia. 2021. pp. 22-100. [Consulta: 23 junio 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8319/1/6142342-2021-IQ-I.pdf>

FERREYRA, L. Elaboración de cerveza: historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Cátedra de Agroindustrias y Laboratorio de investigación en Productos

Agroindustriales, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales UNLP. Argentina. 2014. pp. 24-48 [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf>

FIGUEROS, J.; & MARTÍNEZ, J. Propuesta de control del modelo matemático de un intercambiador de calor de placas para mosto de cerveza. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Ingeniería en comunicación y electrónica. México. 2014. pp. 18-90 [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/12586>

FLUIDECO. *¿Qué es una bomba centrífuga? Funcionamiento tipos y usos.* [blog]. 2023. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-centrifuga/>

FREIXES, S.; & PUNSOLA, A. "¿Qué es una cerveza artesanal?" *El-mundo-de-la-cerveza-artesanal.* [en línea], 2015, 1(2), pp. 7-24. [Consulta: 23 Junio 2022]. Disponible en: https://www.larousse.es/primer_capitulo/el-mundo-de-la-cerveza-artesanal.pdf

GÓMEZ, J. *5 tipos de cervezas artesanales y con qué platillo acompañarlas.* [blog]. 2019. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://mbmarcobeteta.com/cervezas-artesanales-estilos-platillos/>

GONZÁLEZ, I. *Practica #6 Análisis Físicoquímico DE LA Cerveza* [blog]. 2021. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-guayaquil/analisis-de-alimentos/practica-6-analisis-fisicoquimico-de-la-cerveza/10782790>

GRANADA. *6 características que te ayudan a conocer más sobre la abrazadera clamp en acero inoxidable.* [blog]. 2020. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://granadaycia.com/blog/6-CARACTERISTICAS-QUE-TE-AYUDAN-A-CONOCER-MAS-SOBRE-LA-ABRAZADERA-CLAMP-EN-ACERO-INOXIDABLE>

INEN 2325:2002. *Bebidas alcohólicas. Cerveza. Determinación del ph.*

INEN 380. *Conservass vegetales. Determinación de sólidos solubles. Metodo refractometrico.*

INEN 349. *Bebidas alcoholicas determinacion de la densidad relativa*

INEN 2 323:2002. *Bebidas alcoholicas. Cerveza. Determinación de la acidez total.*

INEN 2 322:2002. *Bebidas alcoholicas. Cerveza. Determinación de alcohol.*

INEN 1 529-5:2006. *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos.*

INEN 1529-10:2013. *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad*

INFRASAL. *Dióxido de Carbono.* [blog]. 2023. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://www.infrasal.com/gases/dioxido-de-carbono>

JANISH, S. *Tipos de lúpulo y su utilización en estilos de cerveza | Cómo hacer cerveza artesanal en casa.* [blog]. 2015. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://www.cerveza-artesanal.co/tipos-de-lupulo-y-su-utilizacion-en-tipos-de-cerveza/>

KOROLUK, C. *Cerveza de Argentina.* [blog]. 2022. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/lupulo.htm>

KUNZE, W. *Libro Completo Kunze - Cerveza - Malta.* [blog]. 2006. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/381593686/Libro-Completo-Kunze>

MALTOSAA. *Los tipos de termómetros digitales para elaboración de cerveza.* [blog]. 2018. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: *Maltosaa.* <https://maltosaa.com.mx/termometros-digitales-para-elaboracion-de-cerveza/>

MALTOSAA. *Airlocks para hacer cerveza: ¿cómo funcionan?* [blog]. 2019. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: <https://maltosaa.com.mx/airlocks-para-hacer-cerveza/>

MALTOSAA. *El método de las tres ollas para hacer cerveza todo grano.* [blog]. 2020. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: <https://maltosaa.com.mx/metodo-de-las-tres-ollas-para-hacer-cerveza/>

MENCIA, G.; & PÉREZ, R. (2016). Desarrollo de cerveza artesanal ale y lager con malta de maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*), carbonatada con azúcar y miel de abeja. [en línea]. (Proyecto) (Licenciatura), Escuela Agrícola Panamericana, Carrera de Agroindustria Alimentaria, Honduras. 2016. pp. 18-49. [Consulta: 23 junio 2022]. Disponible en:

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b29b9a8f-d5a3-42e5-8340-3990babda5d7/content>

MOLINA, F. *Levaduras y tipos de cerveza*. [blog]. 2023. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: <https://molinaforbrewers.com/es/blog/levaduras-y-tipos-de-cerveza-n18>

MOSHER, M.; & TRANTHAM, K. "Brewing Science: A Multidisciplinary Approach". Springer International [en línea], 2017, (Suiza), 1(2), pp. 35-61 [Consulta: 24 abril 2022]. ISBN: 978-3-319-46394-0 Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46394-0>

ÑAÑEZ, I. El proceso de producción de cerveza artesanal y su mejoramiento mediante técnicas de recirculación de levaduras en la etapa de fermentación [en línea]. (Trabajo de Investigación) (Ingeniería), Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC, Carrera de Ingeniería Química, Perú. 2020. pp. 7-38. [Consulta: 1 de mayo 2022]. Disponible en: https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/139/1/%C3%91a%C3%B1ez%20Mouchard_TI.pdf

OCTAL. *Tubería de Acero Inoxidable 304 y 316* [blog]. 2018. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: <https://www.octalacero.com/tuberia-de-acero-inoxidable-304-316>

ORTEGA, M. Producción de cerveza empleando integralmente el grano de sorgo. [en línea]. (Trabajo de Diploma) (Ingeniería), Universidad Central "MARTA ABREU" de las Villas, Facultad de Química Farmacia, Departamento de Ingeniería Química, Cuba. 2016. pp. 27-84. [Consulta: 4 de enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7432/Ortega%20D%c3%adaz%20Mara%20y.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PÉREZ, S. Propuesta de mejora de microcervecería mediante la implantación de un sistema de inocuidad alimentaria basado en la norma ISO 22000 e innovación en el desarrollo de cerveza artesanal. [en línea]. (Trabajo de fin de Grado) (Ingeniería), Universidad de Extremadura, Escuela de Ingenierías Agrarias, España. 2019. pp. 60-130. [Consulta: 23 Junio 2022]. Disponible en: https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/10309/1/TFGUEX_2019_Perez_Gordillo.pdf

PKW. *Fermentadores y Equipo Para Hacer Cerveza*. [blog]. 2019. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: <https://www.portlandkettleworks.mx/es/fermentadores-y-equipo-para-hacer-cerveza/>

POLISINELLI. *Molino para malta de 3 rodillos.* [blog]. 2022. [Consulta: 24 abril 2022]. Disponible en: <https://www.polsinelli.it/es/molino-para-malta-de-3-rodillos-P1414.htm>

QUEZADA, M.; & VALENCIA, V. Evaluación teórica del grado de descontaminación de micotoxinas en las etapas de producción de cerveza artesanal a nivel de laboratorio [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Bioquímico Farmacéutico), Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Bioquímica y Farmacia, Cuenca. 2021. pp. 1-79. [Consulta: 23 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29444/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf>

QUINTANA, A. *La malta, ingrediente esencial en la cerveza.* [blog]. 2020. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible: <https://www.loscervecistas.es/cultura-cervecista/la-malta-ingrediente-esencial-en-la-cerveza/>

ROJAS, K. *¿Por Qué Utilizar Clarificantes En Mi Cerveza?* [blog]. 2020. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://cibart.com.ar/novedades/clarificantes-en-la-cerveza/>

SALAS, C. Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al área de alimentos del CESTTA - ESPOCH. [en línea], (Tesis) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Ecuador. 2012. pp. 22-84. [Consulta: 4 de enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1982>

SAMPIERI, R.; et al. *Metodología de la Investigación.* 6^{ta}. México: Mc Graw Hill, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0. pp. 9-14.

SOLÍS, L. *Usos del Intercambiador de Calor y Chillers para elaborar cerveza artesanal.* [blog]. 2018. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://blog.froztec.com/usos-del-intercambiador-de-calor-y-chillers-para-elaborar-cerveza-artesanal>

TAPIA, P.; & VALLE, R. Diseño y construcción de un fermentador tipo Batch como parte de una línea de procesos para la obtención de cerveza artesanal. [en línea], (Tesis) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. 2021. p. 117. [Consulta: 4 de enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16800>

TERÁN, R. Elaboración de cerveza tipo ale en base a un sustrato de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y cebada (*Hordeum vulgare*). [en línea], (Tesis) (Ingeniería), Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Alimentos, Ecuador. 2015. pp. 33-74. [Consulta: 4 de enero 2023]. Disponible en: https://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/14404/61643_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

THEHOMEBREWER. *Equipo de gasificación para cerveza casera*. [blog]. 2019. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://thehomebrewerperu.com/producto/equipo-de-gasificacion-para-cerveza-casera/>

TORRES, C. Plan piloto para cerveza artesanal [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. 2015. pp. 32-41. [Consulta: 23 junio 2022]. Disponible en: www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4517

VÁZQUEZ, C. *Diferencias entre una cerveza artesanal e industrial*. [blog]. 2014. [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: <https://devinosconcarla.vinopremier.com/diferencias-entre-una-cerveza-artesanal-e-industrial/>

VILLEGAS, L. Reingeniería de la planta de cerveza artesanal CHERUSKER. [en línea]. (Tesis) (Ingeniería), Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química, Ecuador. 2013. pp. 30-84. [Consulta: 23 junio 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2185/1/T-UCE-0017-51.pdf>

VOZDECATADORES. *Cervezas de fermentación alta: Tipos de cerveza* [blog]. 2020. [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: <https://vozdecatador.es/2020/03/07/cervezas-de-fermentacion-alta-tipos-de-cerveza-ii/>

ZECCHIN, A. *Molino de Malta para Cerveza Artesanal—Quebradora Malta*. [blog]. 2018. [Consulta: 4 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.metalurgicavz.com.ar/molino-malta-cerveza-artesanal.html>



ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

ANEXO B: RENDIMIENTO DE LAS MALTAS



Item # Whole Kernel	Item # Pre- ground	Item Description	Available as ORGANIC?	Mealy %			Plump %		Moisture %	Extract FG %		Extract Difference %	Protein %		Alpha Amylase	DP - Degrees Linnher	Color - Degrees Loribond
				Half %	Glasy %	Thru %	Extract CG %	Dry basis		Dry basis	S/T		ASBC				
5298	5596	Brewers Malt	X	98	2	0	80	2	4.2	81.0	80.0	1.0	11.5	42.0	65	140	1.8
6986	7219	Full Pint Brewers Malt		100	0	0	80	1	4.6	81.0	80.0	1.0	11.2	40.8	73	150	1.7
7236	n/a	Synergy Select Pilsen Malt		98	2	0	98	0	4.5	83.0	82.0	1.0	10.9	42.0	58	100	1.8
5303	5603	Pilsen Malt		98	2	0	90	2	4.5	81.0	79.5	1.5	11.3	37.0	60	140	1.2
5317	5612	Wheat Malt, White		98	2	0	75	3	5.0	83.0	81.5	1.5	11.5	41.0	20	120	2.8
5323	5615	Wheat Malt, Red		98	2	0	75	3	5.0	82.0	80.5	1.5	12.5	39.0	20	110	3.0
6659	6660	Goldpils® Vienna Malt		98	2	0	90	1	3.5	80.0	78.0	2.0	12.0	35.0	45	80	3.5
5301	5600	Pale Ale Malt		98	2	0	80	2	4.0	80.0	78.5	1.5	11.7	42.0	45	85	3.5
5355	5631	Ashburne® Mild Malt		95	5	0	80	2	3.5	79.0	77.0	2.0	11.7	40.0	45	65	5.3
5344	5625	Bonlander® Munich Malt 10L	X	95	5	0	80	2	3.3	78.0			11.7	38.0	35	40	10
5346	5626	Aromatic Munich Malt 20L		95	5	0	80	2	2.5	77.0			11.7	36.0	25	20	20
5419	5667	Carapils® Malt	X	0	0	100	75	5	6.5	75.0							1.5
7247	7362	Carapils® Copper Malt		0	0	100	75	5	5.5	75.0							30
7063	7067	Victory® Malt		95	5	0	70	5	2.5	75.0							28
7059	7061	Special Roast Malt		95	5	0	70	5	2.5	75.0							40
5446	5671	Extra Special Malt		95	5	0	70	5	2.5	73.0							130
5332	5620	Rye Malt		98	2	0	80	8	4.5	84.0			10.0	50.0	40	105	3.7
7007	7008	Smoked Malt, Apple Wood		98	2	0	80	2	6.0	80.5			11.0	45.0	45	110	6.0
6620	6621	Smoked Malt, Cherry Wood		98	2	0	80	2	6.0	80.5			11.0	45.0	45	110	5.0
6928	6929	Smoked Malt, Mesquite		98	2	0	80	2	6.0	80.5			11.0	45.0	45	110	5.0
5405	5660	Caramel Malt 10L		0	5	95	70	5	7.0	77.0							10
7070	7072	Caramel Malt 20L	X	0	5	95	70	5	6.0	76.0							20
5407	5661	Caramel Malt 30L		0	5	95	70	5	5.5	77.0							30
5409	5663	Caramel Malt 40L		0	5	95	70	5	5.5	77.0							40
5411	5664	Caramel Malt 60L	X	0	5	95	70	5	5.0	77.0							60
5417	5666	Caramel Malt 80L		0	5	95	70	5	4.5	76.0							80
5416	n/a	Caramel Malt 90L		0	5	95	70	5	4.0	75.0							90
5415	7049	Caramel Malt 120L	X	0	5	95	70	5	3.0	75.0							120
6931	6954	Caramel Rye Malt		0	10	90	80	4.5	5.0	80.0							60
7051	n/a	Caramel Vienne Malt 20L		0	5	95	70	5	4.5	78.0							20
7050	n/a	Caramel Munich Malt 60L		0	5	95	70	5	3.5	77.0							60
6457	6522	Caracystal® Wheat Malt		0	15	85	75	3	4.0	78.0							55
6461	7039	Carabrown® Malt							2.2	79.0							55
5441	5669	Chocolate Malt	X						5.5								350
5444	5670	Dark Chocolate Malt							5.5								420
5422	6607	Black Malt	X						6.0								500
n/a	5709	Black Malted Barley Flour							6.0								500
6533	6643	Blackprinz® Malt							6.0								500
6459	6629	Midnight Wheat Malt							6.5								550
7056	7058	Roasted Barley	X						5.0								300
7046	7047	Black Barley							6.0								500

Typical analysis data is subject to standard analytical deviations. They represent average values, not to be considered as guarantees, expressed or implied, nor as a condition of sale. This data is correct, to the best of our knowledge. As the statements are intended only as a source of information, no statement is to be construed as violating any patent or copyright.

ANEXO C: VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS

ACTA DE VALIDACIÓN DE EQUIPO

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el día 03 del mes Agosto del año 2022 a las 9 a.m. se da la validación técnica de la Línea de Producción de Cerveza Artesanal ubicado en el Laboratorio de Procesos Industriales, autorizado por los docentes miembros de la comisión:

- Señor Magíster

Darío Fernando Guamán Lozada, MsC.

- Señor Ingeniero

Carlos Ramiro Cepeda Godoy, Mgs.

Se presentan así algunos aspectos generales:

- **Título Trabajo de Integración Curricular:**

Rediseño, repotenciación e implementación de la línea de cerveza artesanal existente en el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias de la ESPOCH.

- **Autores:**

- Cando Lara Henry Andrés
- Conterón Padilla Lizeth Fernanda

- **Características generales de funcionamiento**

Objetivo: Rediseñar, repotenciar e implementar la línea de producción de cerveza artesanal existente en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

General	
Nombre del equipo	Línea de producción de cerveza artesanal
Material de construcción	Acero 304 Acero inoxidable
Quemador industrial	Hierro fundido Capacidad calorífica de 5000 Kcal/h
Capacidad	64,36 L
Espesor de la pared (acero inoxidable)	2 mm
Enfriador de placas	20 placas
Aislante térmico (tapa del fermentador)	Poliuretano
Eficiencia de la soldadura	0.7
Filtro	Acero inoxidable 39×5 cm
Molino	
Tipo	Dos rodillos
Capacidad	3kg
Carga	Manual

**ANEXO D: PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA CERVEZA
(LINEA BASE)**



LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
DE CALIDAD EN AGUA Y ALIMENTOS

EXAMEN BROMATOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO: 140-22

CLIENTE: Henry Cando

TIPO DE MUESTRA: Cerveza artesanal

FECHA DE RECEPCIÓN: 27 de junio del 2022

FECHA DE MUESTREO: 27 de junio del 2022

EXAMEN FÍSICO

COLOR: Café oscuro turbio

OLOR: Característico

ASPECTO: Presencia de sedimentos

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	VALOR ENCONTRADO
pH	Unid.	INEN 2325	3.30
Acidez expresado como ácido láctico	%	INEN 2323	0.38
Grados alcohólicos	%	INEN 2322	5.70
Contenido de hierro	mg/L	INEN 2326	0.08
Contenido de cobre	mg/L	INEN 2327	0.05
Contenido de zinc	mg/L	INEN 2328	0.13
Contenido de arsénico	mg/L	INEN 2329	<0.04
Contenido de plomo	mg/L	INEN 2330	0.06
Carbonatación	Volúmenes de CO ₂	INEN 2324	2.10
Mohos y levaduras	UFC/ml	INEN 1529-10	10
Anaerobios mesófilos	UFC/ml	INEN 1529-5	9

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.



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



**ANEXO E: PRUEBAS FÍSICO QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA CERVEZA
(LINEA REPONTENCIADA)**



LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
EN AGUA Y ALIMENTOS

EXAMEN BROMATOLÓGICO Y MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO: 154-22

CLIENTE: Henry Cando

TIPO DE MUESTRA: Cerveza artesanal

FECHA DE RECEPCIÓN: 22 de agosto del 2022

FECHA DE MUESTREO: 22 de agosto del 2022

EXAMEN FÍSICO

COLOR: Café claro

OLOR: Característico

ASPECTO: Normal, libre de material extraño

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	VALOR ENCONTRADO
pH	Unid.	INEN 2325	4.20
Acidez expresado como ácido láctico	%	INEN 2323	0.10
Grados alcohólicos	%	INEN 2322	6.50
Contenido de hierro	mg/L	INEN 2326	0.09
Contenido de cobre	mg/L	INEN 2327	0.04
Contenido de zinc	mg/L	INEN 2328	0.14
Contenido de arsénico	mg/L	INEN 2329	<0.04
Contenido de plomo	mg/L	INEN 2330	0.06
Carbonatación	Volúmenes de CO ₂	INEN 2324	3.20
Mohos y levaduras	UFC/ml	INEN 1529-10	Ausencia
Anaerobios mesófilos	UFC/ml	INEN 1529-5	Ausencia

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.



Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



ANEXO F: PRUEBAS DE INOCUIDAD DE LA CERVEZA DE LA LINEA BASE Y LINEA REPOTENCIADA

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS



saqmic

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS
CÓDIGO: 141 E-22

CLIENTE: Henry Cando

TIPO DE MUESTRA: Cerveza artesanal

FECHA DE RECEPCIÓN: 30 de agosto del 2022

LOCALIDAD: Riobamba

PRUEBAS DE INOCUIDAD

CODIGO	PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO
CERVEZA ARTESANAL LINEA BASE	Coliformes totales UFC / ml	Siembra en masa	100
	Aerobios mesófilos UFC / ml	Siembra en masa	1000
CERVEZA ARTESANAL LINEA REPONTECIADA	Coliformes totales UFC / ml	Siembra en masa	AUSENCIA
	Aerobios mesófilos UFC / ml	Siembra en masa	AUSENCIA

FECHA DE ANÁLISIS: 30 de agosto del 2022

FECHA DE ENTREGA: 06 de septiembre del 2022

RESPONSABLE:

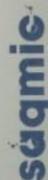
Dra. Gina Álvarez R.



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

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 📞032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



ANEXO G: PROCESO ACTUAL DE ELABORACIÓN DE CERVEZA



Molienda



Hervido



Maceración



Cocción



Whirlpool



Enfriamiento



Fermentación



Maduración



Filtración



Carbonatación



Embotellado



Producto final



epoch

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: 08 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Lizeth Fernanda Conterón Padilla Henry Andrés Cando Lara
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero/a Químico/a
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1367-DBRA-UPT-2023

