



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA CERVECERA
CON CAPACIDAD DE 200 LITROS PARA UNA EMPRESA EN LA
CIUDAD DE RIOBAMBA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

KELVIN ALBINO TOASA QUISPE

BRYAN ALEJANDRO CASTILLO PAGUAY

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA CERVECERA
CON CAPACIDAD DE 200 LITROS PARA UNA EMPRESA EN LA
CIUDAD DE RIOBAMBA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: KELVIN ALBINO TOASA QUISPE
BRYAN ALEJANDRO CASTILLO PAGUAY

DIRECTOR: Ing. MARÍA VERÓNICA ALBUJA LANDI MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

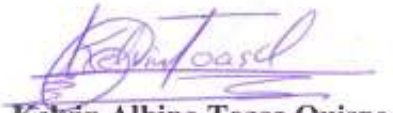
© 2024, **kelvin Albino Toasa Quispe & Bryan Alejandro Castillo Paguay**

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

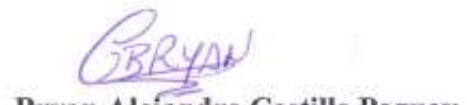
Nosotros, Kelvin Albino Toasa Quispe y Bryan Alejandro Castillo Paguay, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 16 de julio de 2024



Kelvin Albino Toasa Quispe
0502931884



Bryan Alejandro Castillo Paguay
1724441603

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA CERVECERA CON CAPACIDAD DE 200 LITROS PARA UNA EMPRESA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, realizado por los señores: **KELVIN ALBINO TOASA QUISPE** y **BRYAN ALEJANDRO CASTILLO PAGUAY**, 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. Sócrates Miguel Aquino Arroba, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-16
Ing. María Verónica Albuja Landi, MSc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-16
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-16

DEDICATORIA

Dedicado para toda mi familia quienes siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional en los momentos difíciles y enseñándome a enfrentar los desafíos que se presentan en el camino. También dedicado para mis amigos por su apoyo constante y por las lecciones valiosas que me han enseñado a lo largo de esta travesía.

Kelvin

Dedicado a mis amados padres, David y Luz, cuyo inquebrantable apoyo y amor han sido mi pilar durante todo este viaje académico. Su dedicación y aliento constante han sido la fuerza motriz detrás de cada paso que he dado. Gracias por ser mis guías, por creer en mí y por ser la inspiración que me impulsa a alcanzar mis sueños. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han estado a mi lado en cada desafío. Les dedico este logro con todo mi amor y gratitud. ¡A ustedes, mis héroes, va dedicado este triunfo que compartimos juntos!

Bryan

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi familia, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. También quiero agradecer a mis amigos por los momentos compartidos, tanto dentro como fuera de la institución. Además, quiero reconocer y agradecer a mi tutor y asesor por su paciencia y apoyo constante. Por último, quiero mostrar mi gratitud a la ESPOCH por haberme brindado la oportunidad de formarme dentro de sus instalaciones.

Kelvin

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi amada familia y amigos, cuyo constante apoyo, ánimo y presencia han sido pilares fundamentales durante mi travesía académica. Siempre estuvieron ahí, brindándome el respaldo necesario y alentándome a seguir adelante. Agradezco especialmente a mi prima Keire por su generosidad al proporcionarme el apoyo financiero necesario para completar la última etapa de mi carrera. Su contribución fue esencial y significativa.

Bryan

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
SUMMARY	XIX
INTRODUCCIÓN	1
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Alcance	3
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICO	5
2.1. Historia de la cerveza.....	5
2.1.1. Producción de cerveza en Ecuador	5
2.1.1.1. Producción de cerveza Artesanal.....	6
2.2. Tipos de cerveza	6
2.3. Materias primas para la elaboración de cerveza artesanal.....	7
2.3.1. Malta.....	7
2.3.2. Agua.....	8
2.3.3. Lúpulo.....	9
2.3.4. Levadura.....	11
2.4. Procesos para la elaboración de cerveza artesanal	11
2.4.1. Fase de malteado.....	12

2.4.2.	<i>Fase de preparación de materias primas.....</i>	12
2.4.3.	<i>Fase de maceración.....</i>	13
2.4.4.	<i>Fase de cocción</i>	14
2.4.5.	<i>Fase de enfriamiento.....</i>	15
2.4.6.	<i>Fase de fermentación y Maduración.....</i>	16
2.4.7.	<i>Fase de embotellado.....</i>	16
2.5.	<i>Normas</i>	17
2.6.	<i>Diseño de equipos mecánicos.....</i>	17
2.6.1.	<i>Recipientes a presión.....</i>	17
2.6.1.1.	<i>Normativa.....</i>	18
2.6.1.2.	<i>Definición.....</i>	18
2.6.1.3.	<i>Tanque de maceración</i>	18
2.6.1.4.	<i>Tanque de cocción.....</i>	20
2.6.1.5.	<i>Tanque de fermentación</i>	20
2.6.1.6.	<i>Cálculo de espesores.....</i>	22
2.6.1.7.	<i>Materiales</i>	24
2.6.2.	<i>Sistema de mezclado.....</i>	24
2.6.2.1.	<i>Tipos de agitadores.....</i>	25
2.6.2.2.	<i>Potencia del agitador</i>	26
2.6.3.	<i>Sistema de calefacción</i>	27
2.6.3.1.	<i>Calentadores directos</i>	27
2.6.3.2.	<i>Calentadores indirectos</i>	28
2.6.4.	<i>Sistema de refrigeración</i>	29
2.6.4.1.	<i>Serpentín</i>	29
2.6.4.2.	<i>Intercambiador de placas</i>	30
2.7.	<i>Diseño del sistema hidráulico</i>	30
2.7.1.	<i>Selección de la bomba.....</i>	31
2.7.1.1.	<i>Perdidas por efectos de la longitud de tubería</i>	32
2.7.1.2.	<i>Pérdidas secundarias</i>	33

2.7.2.	<i>Dimensionamiento de las tuberías</i>	35
2.7.3.	<i>Materiales</i>	35
2.8.	Diseño de la estructura metálica	36
2.9.	Instrumentación	37
2.9.1.1.	<i>Indicadores de temperatura</i>	37
2.9.1.2.	<i>Indicadores de presión</i>	37
2.9.1.3.	<i>Variador de frecuencia</i>	38
2.9.1.4.	<i>Botonera</i>	38
3.	MARCO METODOLÓGICO	40
3.1.	Metodología de diseño	40
3.1.1.	<i>Identificación de requerimientos</i>	41
3.1.2.	<i>Análisis de la solución</i>	42
3.1.2.1.	<i>Lista de exigencias</i>	42
3.1.2.2.	<i>Estructura de funciones</i>	43
3.1.2.3.	<i>Secuencia de operaciones</i>	45
3.1.2.4.	<i>Matriz morfológica</i>	47
3.1.2.5.	<i>Concepto de soluciones</i>	48
3.1.2.6.	<i>Evaluación de las soluciones</i>	49
3.2.	Diseño de detalle	52
3.2.1.	<i>Diseño de equipos mecánicos</i>	52
3.2.1.1.	<i>Recipiente de maceración</i>	53
3.2.1.2.	<i>Recipiente de cocción</i>	56
3.2.1.3.	<i>Recipiente de climatización de agua</i>	57
3.2.2.	<i>Sistema estructural</i>	59
3.2.3.	<i>Sistema de agitación</i>	63
3.2.3.1.	<i>Sistema de agitación de maceración</i>	63
3.2.3.2.	<i>Sistema de agitación del Whirlpool</i>	74
3.2.4.	<i>Sistema de calefacción</i>	74
3.2.5.	<i>Sistema hidráulico</i>	78

3.2.6.	<i>Sistema de refrigeración</i>	85
3.3.	<i>Selección de la instrumentación</i>	88
4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	89
4.1.	Simulación de la estructura	89
4.1.1.	<i>Asignación de cargas, restricciones y mallado</i>	89
4.1.2.	<i>Esfuerzos</i>	90
4.1.3.	<i>Deformación</i>	90
4.1.4.	<i>Factor de seguridad</i>	91
4.2.	Construcción de la planta cervecera	92
4.2.1.	Sistemas de construcción	92
4.2.1.1.	<i>Construcción del sistema estructural</i>	93
4.2.1.2.	<i>Construcción de los recipientes</i>	94
4.2.1.3.	<i>Construcción del sistema hidráulico</i>	95
4.2.1.4.	<i>Construcción del sistema de agitación para la fase de maceración</i>	95
4.2.1.5.	<i>Construcción del sistema de agitación para la fase del Whirlpool</i>	96
4.2.1.6.	<i>Modificación del intercambiador de calor</i>	97
4.2.2.	Montaje de los sistemas	97
4.2.3.	Tiempo total de construcción	98
4.3.	Análisis de costos	98
4.4.	Pruebas mecánicas en la planta cervecera	103
	CONCLUSIONES	104
	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA	1
	ANEXOS	10

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tipos de cerveza.....	7
Tabla 2-2: Tipo de cervezas según la fermentación.....	7
Tabla 2-3: Composición de agua	9
Tabla 2-4: Características de un grupo de lúpulos	10
Tabla 2-5: Normas empleadas en el sector alimenticio	17
Tabla 2-6: Ecuaciones para el cálculo de espesores de distintos cabezales	23
Tabla 2-7: Características de diversos materiales usados en la fabricación de recipientes.....	24
Tabla 2-8: Velocidades recomendadas	35
Tabla 2-9: Propiedades de distintos materiales.....	36
Tabla 2-10: Ubicación de indicadores de temperatura.....	37
Tabla 3-1: Lista de exigencias	42
Tabla 3-2: Matriz morfológica.....	47
Tabla 3-3: Alternativas de solución	49
Tabla 3-4: Evaluación técnica.....	50
Tabla 3-5: Evaluación económica.....	51
Tabla 3-6: Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304.....	52
Tabla 3-7: Propiedades físicas de la cerveza.....	54
Tabla 3-8: Cálculo de espesores.....	56
Tabla 3-9: Propiedades físicas del agua	58
Tabla 3-10: Resumen de espesores	59
Tabla 3-11: Peso en los recipientes.....	59
Tabla 3-12: Caracterización del perfil	61
Tabla 3-13: Fuerza crítica	62
Tabla 3-14: Relaciones geométricas	64
Tabla 3-15: Dimensiones de las aspas del agitador	65
Tabla 3-16: Coeficiente de arrastre	69
Tabla 3-17: Características del rodamiento 6204.....	71
Tabla 3-18: Constante y factor Y	72
Tabla 3-19: Motores eléctricos	73
Tabla 3-20: Reductor Kraftmann	74
Tabla 3-21: Propiedades físicas de los componentes.....	75
Tabla 3-22: Características del quemador R24	78
Tabla 3-23: Longitudes equivalentes	80
Tabla 3-24: Datos técnicos de la bomba	82

Tabla 3-25: Longitud total del sistema de bombeo N°2	83
Tabla 3-26: Propiedades del agua	84
Tabla 3-27: Propiedades de los fluidos	85
Tabla 3-28: Características del intercambiador de placas BL50D-20.....	87
Tabla 4-1: Maquinas, herramientas y procesos.....	92
Tabla 4-2: Sistemas presentes en la construcción de la planta de cerveza.....	93
Tabla 4-3: Operación y tiempos empleados en el sistema estructural	93
Tabla 4-4: Operación y tiempos empleados en la construcción de los recipientes	94
Tabla 4-5: Operación y tiempos empleados en el sistema hidráulico	95
Tabla 4-6: Operación y tiempos empleados en el sistema de agitación (maceración).....	96
Tabla 4-7: Operación y tiempos empleados en el sistema de agitación (Whirlpool).....	97
Tabla 4-8: Operación y tiempos empleados en la modificación del intercambiador de calor ...	97
Tabla 4-9: Montaje de sistemas adicionales	97
Tabla 4-10: Tiempos totales.....	98
Tabla 4-11: Costos del sistema estructural.....	99
Tabla 4-12: Costos de los recipientes	99
Tabla 4-13: Costo del sistema hidráulico.....	100
Tabla 4-14: Costos del sistema de agitación.....	100
Tabla 4-15: Costo del intercambiador de calor de placas	100
Tabla 4-16: Costo del quemador industrial.....	101
Tabla 4-17: Costos de mano de obra.....	101
Tabla 4-18: Costos de equipos	101
Tabla 4-19: Costos de transporte	102
Tabla 4-20: Costos directos	102
Tabla 4-21: Costos indirectos	102
Tabla 4-22: Costos totales.....	102
Tabla 4-23: Resultado de pruebas.....	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Malta	8
Ilustración 2-2: Agua y cerveza.....	8
Ilustración 2-3: Lúpulo.....	10
Ilustración 2-4: Levadura	11
Ilustración 2-5: Diagrama de flujo para la elaboración de cerveza	12
Ilustración 2-6: Proceso de malteado o germinación	12
Ilustración 2-7: Fase de preparación de materias primas	13
Ilustración 2-8: Fase de maceración	13
Ilustración 2-9: Recirculado del mosto	14
Ilustración 2-10: Elementos usados en la fase de cocción	14
Ilustración 2-11: Remolino en el recipiente de cocción	15
Ilustración 2-12: Sistema de refrigeración	15
Ilustración 2-13: Proceso de fermentación y maduración	16
Ilustración 2-14: Fase de embotellado.....	16
Ilustración 2-15: Recipientes a presión en la industria cervecera	18
Ilustración 2-16: Tanque de maceración con agitador	19
Ilustración 2-17: Elementos de un recipiente macerador	20
Ilustración 2-18: Diagrama de flujo del recipiente de cocción.....	20
Ilustración 2-19: Configuración de un fermentador	21
Ilustración 2-20: Configuración geométrica de un fermentador	22
Ilustración 2-21: Tipos de cabezales para recipientes a presión.....	23
Ilustración 2-22: Agitadores de turbina.....	25
Ilustración 2-23: Agitador de paletas	26
Ilustración 2-24: Agitador tipo ancla.....	26
Ilustración 2-25: Quemador.....	28
Ilustración 2-26: Calentador eléctrico	28
Ilustración 2-27: Recipiente enchaquetado	29
Ilustración 2-28: IDC tipo serpentín helicoidal	30
Ilustración 2-29: Intercambiador de placas	30
Ilustración 2-30: Curva característica y resistente.....	31
Ilustración 2-31: Longitud equivalente en diámetros de tubería	34
Ilustración 2-32: Estructura metálica	36
Ilustración 2-33: Manómetro digital.....	38
Ilustración 2-34: Variador de frecuencia en una bomba	38
Ilustración 2-35: Botonera.....	39

Ilustración 3-1: Procedimiento de la metodología VDI 2221.....	40
Ilustración 3-2: Caja negra	44
Ilustración 3-3: Análisis funcional en el nivel 1.....	44
Ilustración 3-4: Diagrama de evaluación según VDI 2221.	51
Ilustración 3-5: Categoría de la junta soldada	53
Ilustración 3-6: Configuración de la tapa plana	56
Ilustración 3-7: Recipiente de climatización	60
Ilustración 3-8: Caso 9 de la tabla B4.1 ^a de la normativa AISC 360 – 10	61
Ilustración 3-9: Propiedades geométricas de la sección de 2”	61
Ilustración 3-10: Configuración geométrica de las aspas	64
Ilustración 3-11: Relación del Número de Reynolds vs Número de Potencia	65
Ilustración 3-12: Límites de integración del agitador.....	69
Ilustración 3-13: Coeficiente de arrastre	69
Ilustración 3-14: Selección del rodamiento.....	70
Ilustración 3-15: Factor Y	71
Ilustración 3-16: Quemador EQA 103R – R24.....	77
Ilustración 3-17: Diagrama PID de la instalación	78
Ilustración 3-18: Diagrama del sistema de bombeo N°1.....	79
Ilustración 3-19: Curva resistente vs Curva característica	82
Ilustración 3-20: Bomba CSPL 10 – 1HP	82
Ilustración 3-21: Diagrama del sistema de bombeo N°2.....	83
Ilustración 3-22: Curva característica y resistente del sistema de bombeo N°2.....	85
Ilustración 3-23: Termómetro Vertical Bimetálico	88
Ilustración 4-1: Asignación de cargas	89
Ilustración 4-2: Mallado del sistema	90
Ilustración 4-3: Esfuerzo de Von-Misses	90
Ilustración 4-4: Deformaciones	91
Ilustración 4-5: Factor de seguridad.....	92
Ilustración 4-6: Montaje de los sistemas	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Espesor del cilindro según ASME	22
Ecuación 2-2: Diametro del agitador	27
Ecuación 2-3: Numero de reynolds del agitador.....	27
Ecuación 2-4: Potencia del agitador.....	27
Ecuación 2-5: Curva resistente del sistema.....	31
Ecuación 2-6: Perdidas por longitud de tuberia	32
Ecuación 2-7: Numero de reynolds	32
Ecuación 2-8: Factor de friccion para estado laminar.....	33
Ecuación 2-9: Factor de friccion para estado turbulento	33
Ecuación 2-10: Longitud equivalente	34
Ecuación 2-11: Perdidas totales	34
Ecuación 2-12: Diametro de la tuberia	35
Ecuación 3-1: Volumen de diseño	52
Ecuación 3-2: Altura del recipiente	54
Ecuación 3-3: Presion de diseño	54
Ecuación 3-4: Espesor calculado del cilindro	55
Ecuación 3-5: Espesor de la tapa	55
Ecuación 3-6: Carga ultima	60
Ecuación 3-7: Esbeltez de la columna	62
Ecuación 3-8: Fuerza de euler de la columna	62
Ecuación 3-9: Resistencia nominal	62
Ecuación 3-10: Numero de reynolds del agitador.....	65
Ecuación 3-11: Potencia del agitador.....	66
Ecuación 3-12: Diametro según ASME B106.1M.....	66
Ecuación 3-13: Ecuacion simplificada del diametro.....	66
Ecuación 3-14: Torque del eje	67
Ecuación 3-15: Limite de fatiga.....	67
Ecuación 3-16: Momento en el agitador	68
Ecuación 3-17: Espesor del aspa.....	70
Ecuación 3-18: Carga equivalente dinamica del rodamiento.....	71
Ecuación 3-19: Carga equivalente dinamica del rodamiento reducida.....	71
Ecuación 3-20: Numero de horas de vida	72
Ecuación 3-21: Potencia real del motor	72
Ecuación 3-22: Calor	74

Ecuación 3-23: Calor del mosto.....	75
Ecuación 3-24: Area superficial del recipiente	76
Ecuación 3-25: Calor por radiacion	76
Ecuación 3-26: Energia de perdidas.....	77
Ecuación 3-27: Curva resistente del sistema N1.....	80
Ecuación 3-28: Curva resistente del sistema N2.....	84
Ecuación 3-29: Calor trasnferido	85
Ecuación 3-30: Temperatura de salida.....	86
Ecuación 3-31: Temperatura media logaritmica	86
Ecuación 3-32: Area de las placas	87

ÍNDICE DE ANEXOS

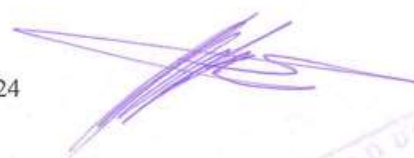
ANEXO A:	eficiencia de la junta.....	10
ANEXO B:	Calor específico del agua	11
ANEXO C:	propiedades del agua	12
ANEXO D:	longitud equivalente de accesorios.....	13
ANEXO E:	características de la bomba.....	14
ANEXO F:	diagrama p&id de la instalación.....	15
ANEXO G:	especificaciones del intercambiador de calor de placas	16
ANEXO H:	resultado final de la planta terminada e instalada.....	17
ANEXO I:	elaboración de la cerveza artesanal	18
ANEXO J:	fabricación de la nueva planta.....	19
ANEXO K:	Manual de operaciones.....	20

RESUMEN

Existe una alta demanda y un constante crecimiento en el consumo de cerveza artesanal de buena calidad, sin embargo, existen varias limitaciones en la producción de esta, una de ellas es que este proceso es muy exigente físicamente. En el caso de Micro Cervecería Equinoccial su demanda es alta debido a la calidad, pero su volumen de producción es muy anticuado y bajo teniendo así que utilizar un solo recipiente y varios de los procesos son realizados manualmente, por lo que el objetivo del proyecto técnico es diseñar y construir una planta cervecera de 200 litros en la ciudad de Riobamba, Ecuador, aplicando principios de ingeniería avanzada y tecnología, con el propósito de mejorar la capacidad de producción de cerveza artesanal, garantizando la calidad del producto y satisfaciendo la creciente demanda local. La metodología que se implementó fue la VDI 2221, ya que esta tiene un enfoque sistemático, por lo que es ampliamente usada en el diseño de productos y procesos. Esta metodología se basa en la ingeniería concurrente, es decir, el desarrollo de habilidades para una eficiente gestión de procesos industriales, por lo tanto, esta metodología busca perfeccionar el diseño a partir de la optimización de costos, técnicas, entre otros. Mediante esta metodología se logró identificar los requerimientos, se realizó una evaluación técnica y económica de la planta para finalmente con ayuda de una matriz morfológica escoger los elementos más adecuados, teniendo un equilibrio entre la calidad y el precio. Para así culminar este proyecto realizando un diseño de detalle y la construcción de cada sistema que compone la planta, la cual con ayuda de las técnicas de modelado 3D se corrigieron algunos defectos y con el software de simulación Inventor Nastran, se validaron los cálculos realizados previamente.

Palabras clave: <INGENIERÍA MECÁNICA> <ERVEZA ARTESANAL> <PROCESOS INDUSTRIALES> <DISEÑO DE EQUIPOS MECÁNICOS> <PLANTA DE CERVEZA> <METODOLOGÍA VDI 2221> <TECNICA DE MODELADO 3D> <RIOBAMBA (CANTÓN)>.

1178-DBRAI-UTP-2024



SUMMARY

There is a high demand and constant growth in the consumption of good quality craft beer. However, its production has several limitations, one of which is that this process is very physically demanding. In the case of Micro Cervecería Equinoccial, its demand is high due to quality. Still, its production volume is very old-fashioned and low, thus requiring the use of a single container. Several of the processes are carried out manually. Hence, the objective of the technical project is to design and build a 200-liter brewing plant in the city of Riobamba, Ecuador, applying principles of advanced engineering and technology to improve the production capacity of craft beer, guarantee product quality, and satisfy growing local demand. The methodology implemented was VDI 2221 since it has a systematic approach, which is why it is widely used in the design of products and processes. This methodology is based on concurrent engineering, that is, the development of skills for efficient management of industrial processes; therefore, this methodology seeks to perfect the design from the optimization of costs and techniques, among others. Through this methodology, the requirements were identified, and a technical and economic evaluation of the plant was carried out to finally choose the most appropriate elements with the help of a morphological matrix, having a balance between quality and price. To complete this project, carrying out a detailed design and construction of each system that makes up the plant, with the help of 3D modeling techniques, some defects were corrected, and with the Inventor Nastran simulation software, the calculations previously made were validated.

Keywords: <MECHANICAL ENGINEERING> <CRAFT BEER> <INDUSTRIAL PROCESSES> <DESIGN OF MECHANICAL EQUIPMENT>, <BEER PLANT> <VDI 2221 METHODOLOGY> <3D MODELING TECHNIQUE> <RIOBAMBA (CANTON)>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, diversas microempresas se dedican a la fabricación de cerveza artesanal, un producto consumido diariamente en cantidades significativas. Sin embargo, la mayoría de estas enfrentan un desafío común: la extracción de glucosa de la malta durante el proceso de maceración, recirculación y exprimido. Este problema se intensifica físicamente, especialmente en función del volumen de producción. En el caso de Micro cervecería Equinoccial, los procesos actuales son realizados con una olla de cocción de 70 litros lo cual implica que la maceración para extraer glucosa, la recirculación mediante recipientes y el exprimido sea de manera manual.

Para optimizar estos procesos y elevar la calidad del producto final, se proyecta la fabricación de ollas de acero inoxidable con fondos falsos en lugar de coladores, la incorporación de bombas hidráulicas para mejorar la recirculación, sustituyendo así los recipientes, y la implementación de un motor para reemplazar el exprimido manual con un centrifugado automático.

Este proyecto técnico propone abordar eficazmente los desafíos actuales en la producción de cerveza artesanal, mejorando la eficiencia de extracción de glucosa y, por ende, contribuyendo a la calidad del producto final.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Muchos antropólogos aseguran que el hombre primitivo fabricaba una bebida elaborada a base de raíces, cereales y frutos silvestres, los cuales eran masticados para provocar su fermentación alcohólica. Los datos más antiguos que se tienen de la cerveza son de 4000 a.C, en una tabla de arcilla, la cual explica una fórmula de elaboración de esta bebida (Peralta, 2013, p. 11).

Sus inicios se remontan al año 1886, cuando los señores Leonardo Stagg Flores y Martín Reimberg Dender, adquieren de la señora Amalia Flores Jijón de Stagg -hija de quien fuera primer presidente del Ecuador, Gral. Juan José Flores- un terreno y fábrica de hielo situados al final del barrio Las Peñas, con el propósito de establecer en él la infraestructura de la Guayaquil Lager Beer Breweries Association (Enciclopedia del Ecuador, n.d.).

Los padres Franciscanos establecen en Quito la costumbre de beber cerveza. Cada 15 días los monjes franciscanos elaboraban cerveza en el área noroccidente del convento, rodeados de toneles de roble, palas gigantes, corchadoras, compresoras de aire, bombas de mosto y una que otra chancleta para su fabricación. Esta habitación se inauguró oficialmente en 1566 como la primera cervecería de Sudamérica, que es ubicó en la ciudad de Quito (Peralta, 2013, p. 13).

En 1913 marcaron el inicio de la gran revolución cervecera en el Ecuador, con la aparición de Pilsener, tipo de cerveza que en poco tiempo captó la preferencia del público de todo el país. Fue tal su aceptación, que la cervecería acordó con la Empresa de Ferrocarriles del Estado el alquiler de un vagón exclusivo para transportar la cebada que venía de la sierra y para llevar a esas regiones su producto. De igual manera, las motonaves que hacían servicio de cabotaje entre las ciudades ribereñas a los ríos de la cuenca del Guayas también iban cargadas de esta nueva cerveza guayaquileña (Enciclopedia del Ecuador, n.d.).

1.2. Formulación del problema

El problema que motiva esta investigación se centra en la limitada capacidad de producción de las cervecerías artesanales en la ciudad de Riobamba, Ecuador, y la consiguiente incapacidad para satisfacer plenamente la creciente demanda de cervezas artesanales de alta calidad en la región. Esta problemática resalta la necesidad de aplicar conceptos de ingeniería avanzada,

incluyendo modelado 3D y cálculos especializados, para diseñar y construir una planta cervecera de mayor capacidad que permita la producción eficiente de cerveza artesanal sin comprometer la autenticidad y calidad del producto.

1.3. Justificación

Este proyecto se justifica por la necesidad apremiante de abordar las limitaciones en la producción de cerveza artesanal en Riobamba, Ecuador. La demanda en constante crecimiento de cerveza artesanal de alta calidad no está siendo satisfecha adecuadamente debido a la capacidad limitada de las cervecerías locales. Esta situación crea la oportunidad de aplicar conceptos de ingeniería y tecnología avanzada para diseñar y construir una planta cervecera de 200 litros que aumentará la producción y, al mismo tiempo, mantendrá la autenticidad y calidad de la cerveza artesanal.

La producción local de cerveza artesanal no solo fomenta la economía y el empleo en la comunidad, sino que también resalta la importancia de preservar las tradiciones y promover productos autóctonos. Este proyecto se justifica aún más por su enfoque en la aplicación de la ingeniería para mejorar los procesos de producción y garantizar la sostenibilidad en un contexto donde la cerveza artesanal se ha convertido en un atractivo cultural y económico.

Además, este proyecto de tesis se basa en la colaboración con una empresa ya establecida en la ciudad, lo que proporciona un sólido respaldo para su éxito y subraya su relevancia para el desarrollo económico y la satisfacción de la creciente demanda de cerveza artesanal de calidad en la región.

1.4. Alcance

El proyecto se centra en el diseño y construcción de una planta cervecera de 200 litros en Riobamba, Ecuador, con un énfasis en la producción de cerveza artesanal de alta calidad. Se llevarán a cabo cálculos técnicos para dimensionar espesores y seleccionar materiales adecuados, considerando componentes clave como ollas de calentamiento de agua, maceración y cocción. El proyecto incluye un proceso de modelado 3D para validar el diseño, seguido de la fabricación de la planta con la colaboración de personal capacitado.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo general*

Diseñar y construir una planta cervecera de 200 litros en la ciudad de Riobamba, Ecuador, aplicando principios de ingeniería avanzada y tecnología, con el propósito de mejorar la competitividad local, garantizando la calidad del producto y satisfaciendo la creciente demanda local.

1.5.2. *Objetivos específicos*

- Dimensionar el espacio permitido por la empresa, para el correcto diseño y una adecuada ubicación de cada uno de los recipientes, utilizando estos valores como punto de partida en la ejecución del proyecto.
- Realizar cálculos técnicos detallados para dimensionar los volúmenes, alturas, presiones, geometrías, espesores y seleccionar los materiales más adecuados para la construcción de la planta cervecera, considerando componentes esenciales como: ollas de calentamiento de agua, maceración y cocción.
- Aplicar técnicas de modelado 3D para visualizar y validar el diseño de la planta cervecera, permitiendo la identificación de posibles mejoras, optimización del espacio y distribución eficiente de equipos, y anticipando posibles problemas antes de la construcción.
- Construir la planta cervecera según los estándares técnicos y de diseño establecidos, asegurando la colaboración de personal capacitado para garantizar la calidad del trabajo y la seguridad en el proceso de construcción.
- Implementar mejoras en los procesos de producción de cerveza artesanal dentro de la planta, enfocándose en la eficiencia operativa, la consistencia en la calidad del producto y la minimización del impacto ambiental, promoviendo así prácticas sostenibles en la producción cervecera.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICO

En Ecuador, la cerveza artesanal ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas dos décadas. A la par que la cerveza artesanal se ha expandido a nivel mundial, también lo ha hecho en el suelo ecuatoriano, es así, que emprendedores locales han tomado la iniciativa de adentrarse en la elaboración de cervezas artesanales, en donde experimentan con ingredientes locales y técnicas tradicionales. El auge de la cerveza artesanal ha ganado popularidad en las últimas décadas, es así, que micro cervecerías han aparecido en varias regiones del país. Dichas cervecerías se enfocan en la calidad del producto, la creación y mezcla de nuevos sabores y el uso de ingredientes locales.

El desarrollo de elementos mecánicos para satisfacer la necesidad de la elaboración de cerveza artesanal implica el manejo de conocimientos técnicos e ingenieriles basados en estudios o fuentes bibliográficas confiables. Es así, que el propósito del presente capítulo busca suministrar de fundamentos teóricos respaldados con investigaciones confiables y fuentes bibliográficas fiables, de tal manera que la investigación se orientará a cumplir los objetivos establecidos. En un inicio, se parte de la historia de la cerveza, en específico de la cerveza artesanal, así como su proceso de fabricación y los elementos que intervienen en esta, consecuentemente se hará énfasis en el proceso industrial y elementos mecánicos que intervienen para la elaboración de esta.

2.1. Historia de la cerveza

El origen de la cerveza comienza hace 4 mil a.C en la antigua Mesopotamia. La evidencia de su origen es una tablilla en donde se detalla su elaboración y además se puede ver a varias personas tomando cerveza de un mismo recipiente. Se dice que el descubrimiento fue accidental, en un inicio se mezcló agua con cereales y así empezó su historia (Ministerio de Cultura de Argentina, 2016).

2.1.1. Producción de cerveza en Ecuador

La historia de la industria cervecera en Ecuador empieza en 1566, cuando el Fray Franciscano Jodoco Rique, elabora en el convento de San Francisco la primera cerveza en toda Latinoamérica. Por ende, la cerveza se convirtió en una bebida muy popular en Quito, asegurando un consumo seguro para la época. En 1887, Enrique Stagg y Martín Reimberg fundaron la primera cervecería en Guayaquil, se enfocaron en cervezas tipo Pilsen y Bayerisch y en 1913, patentaron su cerveza como “Pilsener”, siendo esta de gran calidad, lo que marco el inicio de la Compañía de Cervezas

Nacionales, que se convertiría con el tiempo en el principal productor de cerveza en el país (C. Martínez, 2015, p. 8).

2.1.1.1. Producción de cerveza Artesanal

En Ecuador, el sector de la cerveza se constituye de cuatro categorías, siendo estas, cervecería artesanal, industrial de pequeña escala, industrial de mediana escala y la de gran escala. Dentro del sector de las cervecerías artesanales, se estima que se pueden producir entre 250 y 8,000 litros de cerveza al mes, lo que constituye al el 0.59% del mercado. Según la Asociación de Cervecerías Artesanales, se estima que existen alrededor de 150 negocios de cervecería artesanal, número que puede variar debido a que muchos de los negocios no están registrados y/o operan en la informalidad (RevistaLíderes, 2019).

2.2. Tipos de cerveza

A lo largo de los años, se ha ido ampliando la variedad de cervezas, cuya clasificación va atendiendo a distintos factores como el tipo de levadura utilizada, color, lugar de origen e ingredientes, entre otros. Independientemente del tipo de cerveza, se establece en cualquier caso una serie de parámetros básicos que definen las características de la cerveza en cuestión. Dichos parámetros son:

- Grado alcohólico, valorando en % vol.
- Nivel de amargor, medido en unidades IBU (International Bitterness Unit).
- Densidad del mosto y de la cerveza final, valorada en gramos por litro.
- Color de la cerveza, según las unidades EBC (European Brewery Convention) o SRM (Standard Reference Method).

A pesar de lo expuesto anteriormente, la gran clasificación de cerveza se rige a partir cuatro grandes familias de cervezas que de acuerdo con su fermentación y por los ingredientes que se utilizan, se describen a continuación

Tabla 2-1: Tipos de cerveza

Tipo de cerveza	Grado Alcohólico	Nivel de Amargor	Densidad del Mosto	Densidad de la Cerveza Final	Color de la Cerveza
	% vol	IBU	g/L	g/L	EBC
Ale	4-7	15-50	1,040-1,070	1,011-1,016	5-25
Lager	4-6	8-25	1,040-1,054	1,008-1,012	3-15
Lambic	5-7	5-23	-	-	5-14
Cerveza de trigo	4-6	10-30	1,044-1,052	1,008-1,016	2-25

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Las cervezas, también se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de fermentación, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2-2: Tipo de cervezas según la fermentación

Tipo de Cerveza	Fermentación alta	Fermentación baja	Fermentación espontánea
Contenido alcohólico	8% - 12%	4% - 5%	±5%
Características	Turbias, con color variable dependiente al estilo de fermentación e ingredientes. Espumosa consistente	Tonalidad clara. colores amarillos dorados. Espuma fina	Tonalidad amarilla. Conserva un toque ácido y cítrico. Espumosa consistente

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.3. Materias primas para la elaboración de cerveza artesanal

Dentro de la elaboración de cerveza artesanal, se combinan ciertos factores como la ciencia, la creatividad y las materias primas que se utilizan para su fabricación tienen un rol esencial. Es importante prescindir de ingredientes frescos y sin rastro de contaminación, además de tener una cuidadosa selección y combinación de ingredientes para la creación de cervezas con sabores únicos y aromas exquisitos.

Las principales materias primas que se usan en la fabricación de cerveza artesanal son las siguientes:

2.3.1. *Malta*

Según la norma NTE INEN 2262 (2003, p. 1), se define como: “Cebada malteada. Es el producto de someter el grano de cebada a un proceso de germinación controlada, secado y tostado en condiciones adecuadas para su posterior empleo en la elaboración de cerveza”.



Ilustración 2-1: Malta
 Fuente: (B. Martínez, 2021, p. 8)

De acuerdo con Martínez B. (2021, p. 8), en la elaboración de cerveza, existen diferentes tipos de malta, pero se puede reducir a dos categorías que son: malta base y maltas especiales. En donde las maltas bases, se caracterizan por proporcionar la mayor parte de azúcares fermentables y dentro de la receta, corresponde al volumen principal, estas pueden ser: maltas base pálidas, maltas base tostadas elaboradas de trigo y centeno. Y, las maltas especiales que se caracterizan por ser usadas en cantidades pequeñas y se utiliza para añadir color, sabor y aroma a la cerveza, estas pueden ser maltas de caramelo y/o ámbar tostadas.

2.3.2. *Agua*

El agua desempeña un papel importante en la elaboración de cerveza artesanal, y este componente es directamente proporcional al sabor, aroma, calidad y textura del producto final. Es así como la composición química del agua debe adecuarse a los estándares que requiere cada tipo de cerveza.



Ilustración 2-2: Agua y cerveza
 Fuente: (Maltosaa, 2018)

A continuación, se muestra una tabla de la concentración de iones y minerales presente en el agua de algunas regiones que son famosas por la cerveza que producen.

Tabla 2-3: Composición de agua

Ciudad	CO_3^{-2}	Na^+	Cl^-	SO_4^{-2}	Ca^{+2}	Mg^{+2}
Burton (Inglaterra)	0	24	36	801	294	24
Dortmund (Alemania)	180	69	106	260	261	23
Dublín (Irlanda)	319	12	19	54	117	4
Londres (Inglaterra)	156	99	60	77	52	16
Munich (Alemania)	152	10	2	8	75	18
Pilsen (Bélgica)	14	2	5	2	7	2

Fuente: (G. González & Marcos, 2017, p. 51)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

La presencia de sulfato de calcio o carbonato de calcio en el agua que se usa para la fabricación de la cerveza puede dar como resultado un sabor ligeramente áspero o amargo. Por otro lado, la presencia de calcio o magnesio producen un resultado contrario, es decir, que son beneficiosos para la actividad de la levadura, sin embargo, en cantidades elevadas puede dar lugar a la aparición de matices metálicos en el sabor del producto final. Finalmente, el cloruro en presencia o no de sodio tiene el poder de intensificar las características de sabores (G. González & Marcos, 2017, p. 51).

La dureza del agua hace referencia a la cantidad de minerales, en específico al calcio y magnesio, en un volumen específico de agua. Es así que de acuerdo con las concentraciones de estos minerales se puede clasificar al agua desde muy blandas hasta muy duras (G. González & Marcos, 2017, p. 51).

2.3.3. *Lúpulo*

Este componente es primordial en la elaboración de cerveza artesanal, dado que aporta un amargo distintivo, además de aportar de manera significativa en los perfiles aromáticos y en las notas de sabor. Su extracción es a partir de las flores de la planta *Humulus lupulus*, la cual posee una diversidad de cepas con aromas únicos.



Ilustración 2-3: Lúpulo

Fuente: (Cerveza Artesana, 2003)

De acuerdo con Álvarez (2020, pp. 31–32), el lúpulo es originario de América del norte, y a continuación se presenta una tabla de distintos tipos de lúpulos y sus características esenciales:

Tabla 2-4: Características de un grupo de lúpulos

Tipo	Características fundamentales
Lúpulo Centennial	- Categoría Americana: Clasificado dentro de la serie Americana de lúpulos. - Introducción en los años 90: Fue introducido a principios de los años 90. - Aroma Apetecible: Altamente apreciado por maestros cerveceros artesanales por su aporte de aroma. - Intensidad Media: Proporciona una intensidad media de aroma. - Tonos Florales y Cítricos: Caracterizado por tonos florales y cítricos en su aroma. - Amargor Considerable: Contribuye con un amargor considerable. - Lúpulo de Doble Propósito: Considerado como lúpulo de doble propósito por su contribución tanto al aroma como al amargor.
Lúpulo Calypso	- Procedencia de Estados Unidos: Originario de Estados Unidos. - Sabores y Olores Afrutados: Conocido por sus suaves sabores y olores afrutados. - Notas Cítricas: Produce notas cítricas en la cerveza. - Apreciado en Estilos Específicos: Es apreciado en la elaboración de estilos como ales, pale ale y golden ale. - Amargor y Tonos Delicados: Contribuye con un amargor y tonos delicados.
Lúpulo Phoenix	- Originario del Reino Unido: Proviene del Reino Unido. - Aromas Frescos y Agradables: Utilizado por maestros cerveceros tanto europeos como americanos por sus aromas frescos y agradables. - Doble Propósito: Utilizado en una variedad de estilos de cervezas ales debido a su versatilidad como lúpulo de doble propósito.
Características del Lúpulo Tettnanger	- Originario del Suroeste de Alemania: Proviene del suroeste de Alemania. - Amargor Moderado: Caracterizado por un amargor moderado. - Aroma Suave Especiado: Aporta un aroma suave especiado con carácter herbal y herbáceo. - Lúpulo de Doble Propósito: Utilizado en varios estilos de cervezas lager y ales alemanas como lúpulo de doble propósito.

Fuente: (Álvarez, 2020, p. 32)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.3.4. Levadura

Este componente juega un papel fundamental en la elaboración de cerveza artesanal, su función es transformar los azúcares de la malta en alcohol y dióxido de carbono, además, aporta con tonos de sabor y olor al producto final.



Ilustración 2-4: Levadura
Fuente: (HacerCervezaArtesanal, n.d.)

Finalmente, algunos cerveceros artesanales a más de usar las materias primas anteriormente mencionadas optan por adicionar otro tipo de maltas, estas pueden ser coloreada, acida, escaldada, etc.; especias, frutos, flores u otras especias que hagan del producto una bebida única y distintiva.

2.4. Procesos para la elaboración de cerveza artesanal

El proceso para la elaboración de cerveza artesanal consta de 7 pasos fundamentales, que inicia desde la molienda de granos y la maceración, siguiendo con la cocción de la malta con la adición de lúpulos y la levadura, continuando con la fermentación y maduración, finalmente terminando con el embotellado. En el siguiente diagrama de flujo, se puede apreciar el orden para elaborar dicho producto:

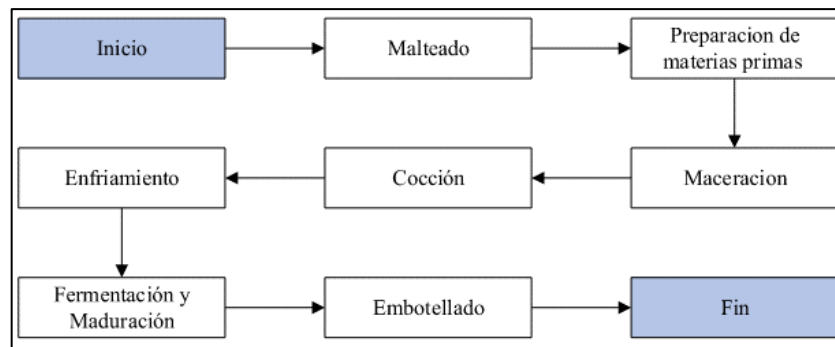


Ilustración 2-5: Diagrama de flujo para la elaboración de cerveza
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.4.1. Fase de malteado

La germinación o también conocida como malteado, es esencial para la aparición y el desarrollo de enzimas en los granos antes de la fase de maceración, en esta fase se requiere un nivel de humedad aproximado de 45 %. Dicho nivel se logra al someter a las semillas a ciclos de remojo y drenado con agua a 16 °C, en este proceso los granos se exponen al aire para prevenir cambios abruptos de temperatura. Los granos, al estar sometidos a la exposición de aire y humedad, no entran a la fase de germinación dando como resultado, la formación adecuada de enzimas (Gisbert, 2016, p. 10).

Posteriormente a esta fase se tiene la molienda de grano en donde no se busca la trituration completa, más bien una trituration parcial, para evitar rastros de polvo que en fases siguientes puede llegar a ser perjudicial.

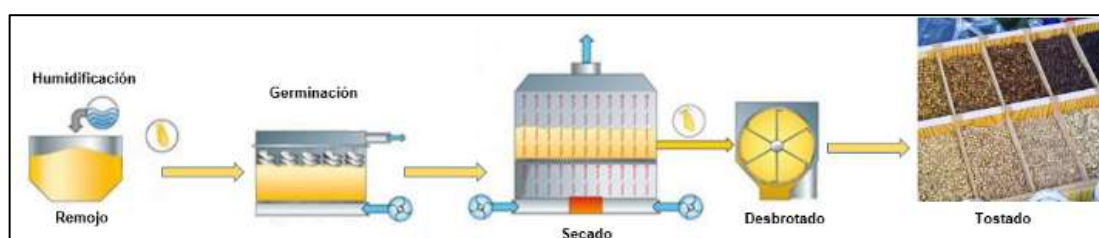


Ilustración 2-6: Proceso de malteado o germinación
Fuente: (B. Martínez, 2021, p. 18)

2.4.2. Fase de preparación de materias primas

En primera instancia, se inicia con la limpieza y esterilización de los equipos que intervienen en la fabricación de cerveza. Con esto en mente, se prepara la cantidad adecuada de agua para calentarla a una temperatura entre 65-75 °C teniendo cuidado con el pH de esta y ajustando sus

niveles de acidez según se requiera. Finalmente, se pesa los ingredientes que van a intervenir en la mezcla de acuerdo con el tipo de cerveza que se vaya a preparar (B. Martínez, 2021, p. 19).



Ilustración 2-7: Fase de preparación de materias primas
Fuente: (B. Martínez, 2021, p. 19)

2.4.3. Fase de maceración

En esta etapa es donde se obtiene el mosto, para ello se realiza el remojo de los granos en el agua previamente tratada a una temperatura de 65-75°C. Se recomienda usar 3 litros de agua por kilo de cereales. En este proceso, la mezcla se agita hasta obtener una pasta consistente. El tiempo de maceración puede durar entre 1 h y 30 min hasta 2 h, en donde es importante controlar la temperatura del mosto. Las enzimas que se producen en esta etapa son esenciales para hidrolizar los azúcares en el grano, por lo que se requiere temperaturas entre 55 °C y 68°C, y así obtener la máxima cantidad de glúcidos fermentables (Gisbert, 2016, p. 12).

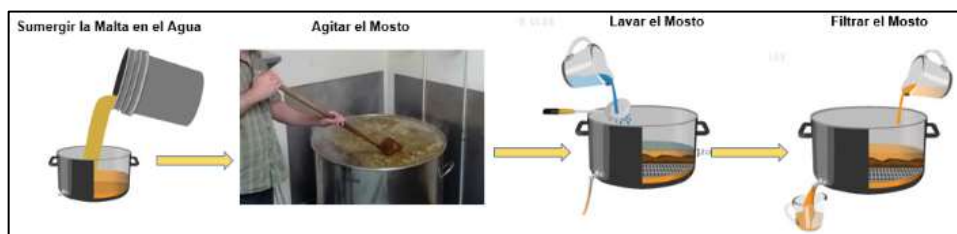


Ilustración 2-8: Fase de maceración
Fuente: (B. Martínez, 2021, p. 19)

En esta fase es importante realizar el recirculado del mosto a través del propio grano varias veces. Dicho de otra forma, al dejar de agitar el mosto se produce un lecho de granos con la sedimentación de las partículas sólidas, consecuentemente se extrae el mosto líquido del inferior del recipiente y se bombea al lecho de granos, en donde este se filtra por lo tanto se aclara el mosto, se maximiza la concentración de azúcares y se elimina las impurezas, es importante que el recirculado del mosto se realice a una temperatura de 70 °C (Gisbert, 2016, p. 15).



Ilustración 2-9: Recirculado del mosto

Fuente: (Gisbert, 2016, p. 15)

2.4.4. Fase de cocción

En esta fase, se lleva al mosto previamente recirculado al punto de ebullición con el propósito de esterilizar al líquido, en esta fase se añade el lúpulo para que este aporte con las características principales que una cerveza posee como el amargor, aroma y sabor, en esta fase también se añaden otros ingredientes como frutas o flores que se usan para maximizar los tonos de amargor y aroma. El tiempo de esta fase se encuentra dentro del rango de 1h y 30min hasta 2h (B. Martínez, 2021, p. 20).



Ilustración 2-10: Elementos usados en la fase de cocción

Fuente: (Gisbert, 2016, p. 16)

En esta fase es importante realizar el subproceso de “Whirlpool”. Este subproceso se realiza cuando se termina la fase de cocción, por lo que es necesario provocar una especie de remolino en el recipiente de cocción a fin de conseguir que las partículas y residuos se sitúen en el centro del mismo. Este subproceso se puede realizar con el uso de un agitador, una bomba o netamente

de forma manual, en donde el usuario es el encargado de realizar el remolino con una cuchara (Palma, 2020, p. 40).



Ilustración 2-11: Remolino en el recipiente de cocción

Fuente: (Palma, 2020, p. 40)

2.4.5. Fase de enfriamiento

En esta fase se requiere enfriar rápidamente el mosto a una temperatura de fermentación entre 20 °C y 22 °C, así se busca prevenir la contaminación y la formación de sabores no favorables. Cuando el enfriamiento es lento, se produce la contaminación por “levaduras salvajes” o bacterias presentes en el entorno (B. Martínez, 2021, p. 20).

Existen distintos métodos para disminuir la temperatura del mosto, uno de estos es el uso de un serpentín de acero inoxidable por donde circula el fluido refrigerante, como se puede observar en la ilustración a continuación:

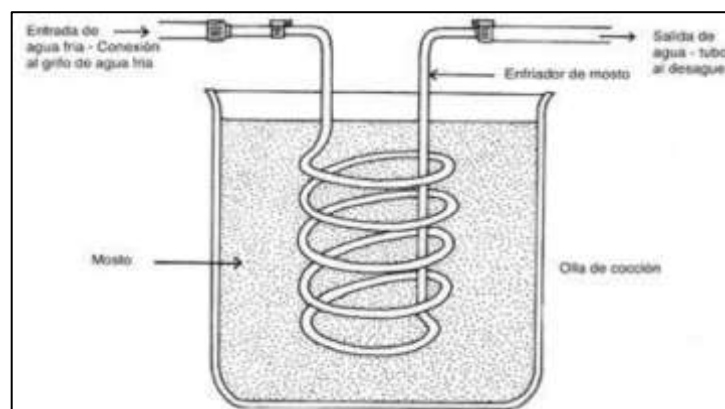


Ilustración 2-12: Sistema de refrigeración

Fuente: (Gisbert, 2016, p. 17)

2.4.6. Fase de fermentación y Maduración

Una vez que el mosto se ha enfriado, se inicia con el proceso de fermentación. En esta etapa, la cantidad inicial de levadura, que depende de cada artesano cervecero, tiene un rol importante debido a que, si se añade una cantidad insuficiente, el proceso llega a ser largo afectando directamente a la economía de la empresa cervecera. Por el contrario, al añadir una cantidad excesiva de levadura genera la aparición de biomasas y esteres que afecta de manera negativa el sabor y calidad del producto (Gisbert, 2016, p. 17).

En este proceso se requiere que el recipiente de almacenamiento sea sellado, además de requerir la presencia de un AirLock, cuya función es impedir la entrada de aire y permitir la salida de CO₂.

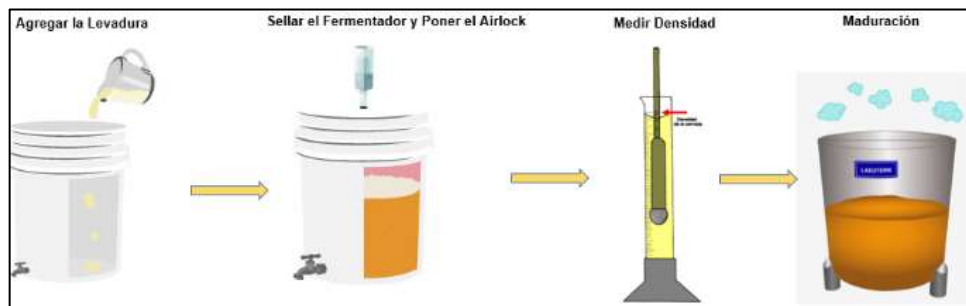


Ilustración 2-13: Proceso de fermentación y maduración

Fuente: (B. Martínez, 2021, p. 21)

2.4.7. Fase de embotellado.

Finalmente, en esta fase se envasa el producto en recipientes previamente esterilizados, en donde se inyecta CO₂ o se añade azúcar para carbonatar o generar gas.

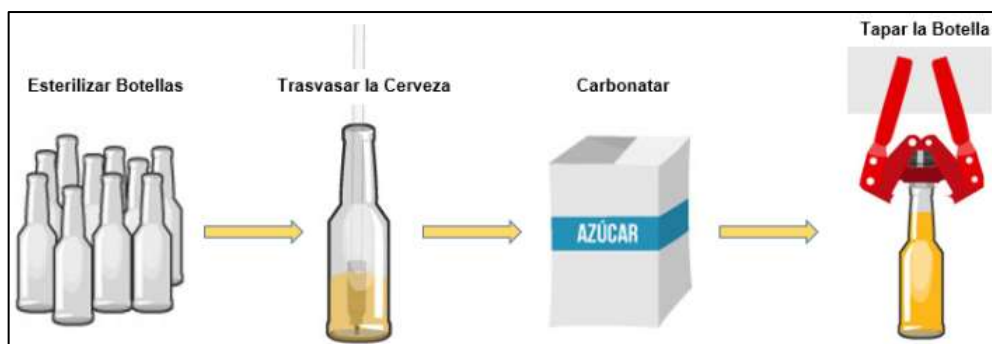


Ilustración 2-14: Fase de embotellado

Fuente: (C. Martínez, 2015, p. 22)

2.5. Normas

A continuación, se enlista las normas que se requiere para la elaboración de cerveza artesanal, así como las normas aplicadas al área del sector alimenticio.

Tabla 2-5: Normas empleadas en el sector alimenticio

Norma	Descripción
NTE INEN 1334-1	Establece los requisitos mínimos que deben cumplir las etiquetas en los envases de productos que se expenden para el consumo humano.
NTE INEN 2302	Establece los requerimientos mínimos que deben cumplir las debidas de malta.
NTE INEN 2262	Establece los requerimientos mínimos que debe cumplir la cerveza para que sea considerada como óptima para el consumo humano.
RTE INEN 102	Establece los requisitos de seguridad que deben cumplir las máquinas clasificadoras de áridos, para evitar riesgos para la seguridad y vida de los operarios.
INEN 339	Establece el método de muestreo de bebidas alcohólicas para estimar la calidad de un lote.
NTE INEN 1529-10	Establece los métodos para cuantificar el número de unidades propagadoras de mohos y levaduras.
NTE INEN 2 322	Establece los métodos de ensayo para determinar el contenido de alcohol en la cerveza.
RTE INEN 131	Establece los parámetros de seguridad e higiene que requiere la maquinaria para el procesamiento de alimentos.

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.6. Diseño de equipos mecánicos

Al hablar del diseño de equipos mecánicos se hace referencia al diseño de equipos presentes en una planta de elaboración de cerveza artesanal, es así como se forma una grandiosa relación entre la ingeniería y el mundo de la cerveza. En este ítem, se aborda los equipos que están presentes en cada fase para la elaboración de cerveza, iniciando desde la fase de maceración hasta la fase de fermentación, los equipos presentes son los que se mencionan a continuación:

2.6.1. Recipientes a presión

Con el auge de la industria cervecera, en específico de la cerveza artesanal, esta ha atravesado un crecimiento exponencial en los últimos años, es así, que la fabricación y almacenamiento de dicho producto requiere de equipos e instalaciones adecuadas que además de cumplir con estándares rigurosos de seguridad, cumplan con normativas de manejo y calidad de producto como tal. El componente clave en dichos equipos, son los tanques de almacenamiento, ya que estos son los que están presentes en la mayoría de las fases como maceración, cocción, enfriamiento, fermentación y almacenamiento del producto. En este contexto, se puede asemejar a los tanques como recipientes sometidos a presión, es así, que en el cálculo de espesores de los tanques se usará las especificaciones de la normativa ASME sección 8 división 1.

2.6.1.1. Normativa

Según Guanín (2023, p. 25) menciona a breves rasgos que la norma ASME o “Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos” por sus siglas en inglés, corresponde a una organización sin fines de lucro que fue fundada en 2004, cuyo propósito es brindar el intercambio de conocimientos entre ingenieros. Su trabajo se centra, en el desarrollo de normas generales en donde se abarcan distintos temas e incorporan nuevas tecnologías, además de incorporar nuevos métodos de cálculo de acuerdo con el mercado actual y su impacto se ve reflejado en más de 100 países a nivel mundial. Esta norma se ve involucrada no solo en el diseño calderas o elementos mecánicos, sino en el diseño de electrodomésticos, herramientas manuales, tanques de almacenamiento, etc.

2.6.1.2. Definición

De acuerdo con Zegarra (2018, p. 11), establece que un recipiente sometido a presión es un contenedor destinado a guardar gases o líquidos, según sea su aplicación, la utilidad de este se radica en distintas aplicaciones como almacenamiento, transporte, mezclado, etc.



Ilustración 2-15: Recipientes a presión en la industria cervecera

Fuente: (czechbrewerysystem, n.d.)

2.6.1.3. Tanque de maceración

De acuerdo con Román (2022, p. 18), el macerador es un equipo usado en la extracción de almidón del cereal, en este caso, la cebada. Como se mencionó en el ítem 2.4.3, se requiere calentar agua

a cierta temperatura lo cual se logra usando un calentador que puede ser directo o indirecto, y acompañado de un sistema de agitación. A breves rasgos, el equipo puede ser tener la configuración geométrica mostrada en la ilustración 2-14.

Donde:

D_t . – Diámetro de tanque

H . – Altura del tanque

D_a . – Diámetro del agitador

E . – Distancia entre la base del tanque y la primera paleta del agitador

W . Altura de la paleta del agitador

L . – Largo de la paleta del agitador

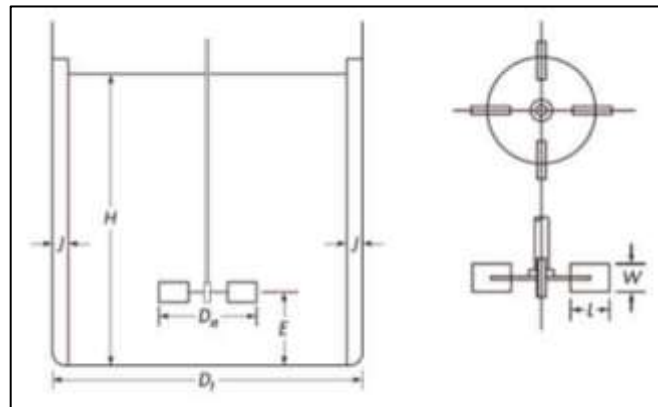


Ilustración 2-16: Tanque de maceración con agitador

Fuente: (Román & Chamorro, 2022, p. 18)

Dentro de los elementos que conforman un recipiente de maceración se recomienda los siguientes:

- Motor
- Caja reductora
- Eje de transmisión
- Rodete o agitador
- Deflectores

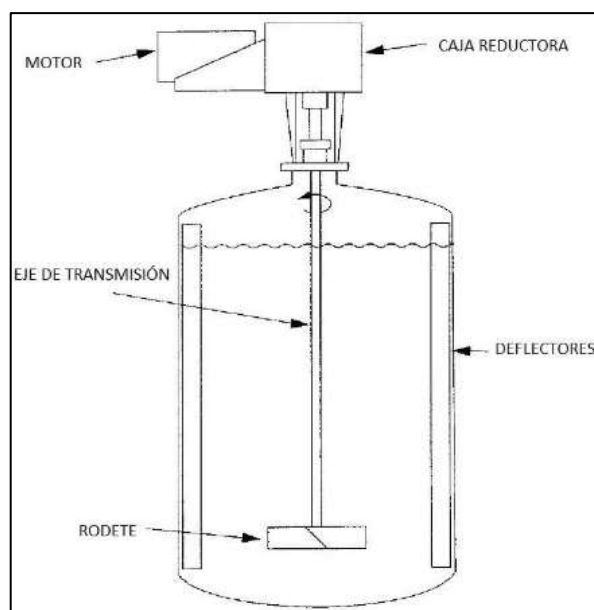


Ilustración 2-17: Elementos de un recipiente macerador

Fuente: (Ricaurte, 2016, p. 35)

2.6.1.4. Tanque de cocción

En este recipiente ingresa el mosto producto de la fase de maceración en donde el fluido se calentará hasta la temperatura de evaporación o según requiera el maestro cervecero. A continuación, se muestra un diagrama de flujo del tanque de cocción.

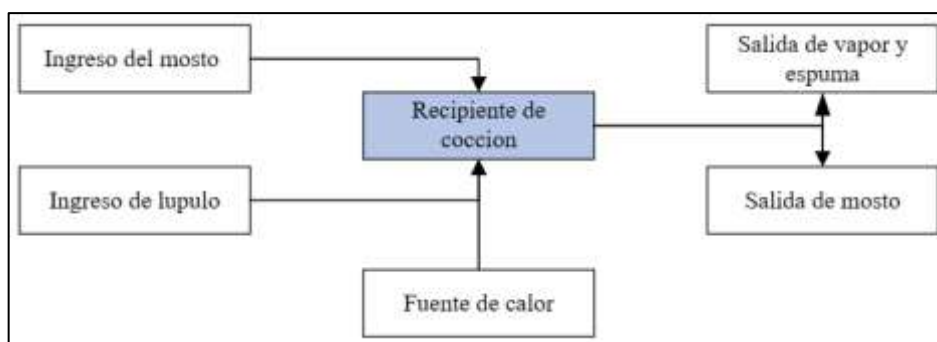


Ilustración 2-18: Diagrama de flujo del recipiente de cocción

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.6.1.5. Tanque de fermentación

Según Guanín (2023, p. 5), el tanque de fermentación debe tener un sistema de sellado hermético además de disponer de varias aberturas en las cuales se conectarán tuberías que permitan el desfogeo del líquido y sedimentos, se ubicara la instrumentación requerida y bridas para el acceso al fermentador, ya sea para su limpieza o inspección.

Los tanques de fermentación, por lo general, tienen una relación de altura-diámetro de 3 a 1 ($L = 3d$). La cantidad de mosto que ingresa al tanque se recomienda que no supere el 75% del volumen total del recipiente, esta medida se implementa ya que, durante el proceso de fermentación puede aparecer espuma la cual ocuparía el 25% restante. Por otro lado, se recomienda que el ángulo del cono sea aproximadamente 60° ya que se ha comprobado su eficiencia para la máxima sedimentación y extracción de levadura (Calleja, 2013, p. 106).

En la siguiente ilustración, se muestra la configuración más habitual de los fermentadores.

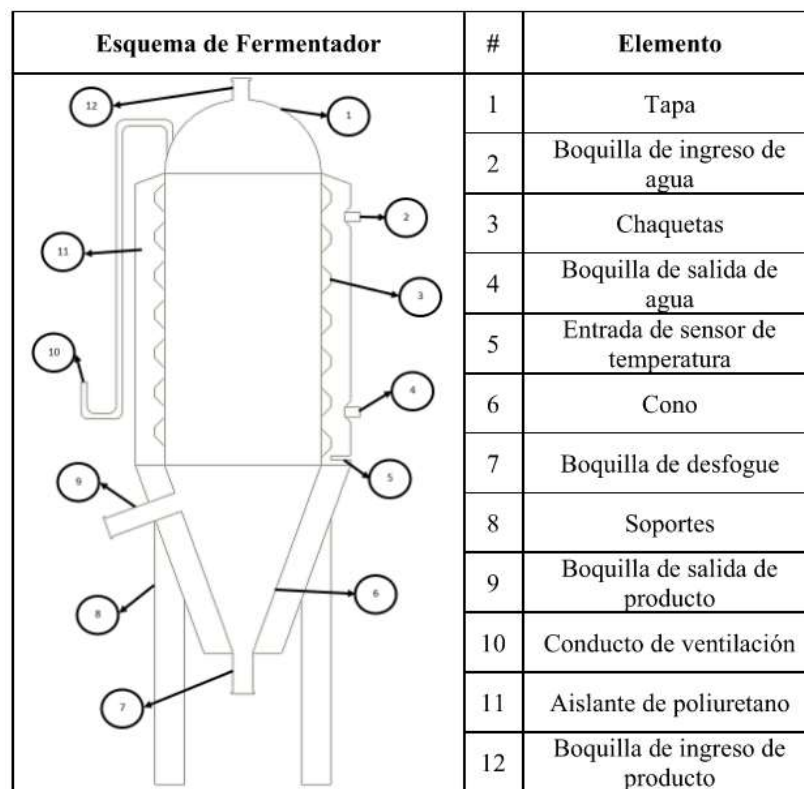


Ilustración 2-19: Configuración de un fermentador

Fuente: (Guanín, 2023, p. 11)

Por otra parte, en la ilustración 2-18, se muestra la configuración recomendada de un fermentador.

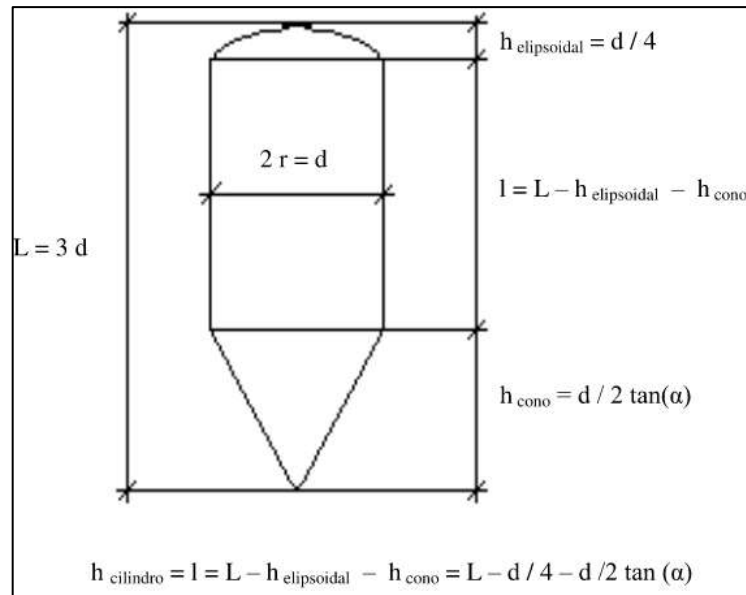


Ilustración 2-20: Configuración geométrica de un fermentador
Fuente: (Calleja, 2013, p. 108)

2.6.1.6. Cálculo de espesores

En esta sección, se adentra en el proceso de cálculo de los espesores de pared y de las tapas que están presentes en un recipiente a presión, como se mencionó en un inicio se usa la normativa ASME sección 8 división 1. Este cálculo es fundamental ya que de este depende la seguridad y eficiencia de los tanques, a continuación, se explora las ecuaciones que se usa para el cálculo de los espesores mencionados.

➤ Espesor del cilindro

A continuación, se muestra la expresión para encontrar el espesor mínimo que con el que debe ser fabricado el tanque, cabe mencionar que este espesor es referencial y se debe seleccionar un espesor comercial de acuerdo con los espesores de plancha disponibles en el mercado.

$$t_r = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} + CA \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde

t_r . – Espesor mínimo requerido de la pared cilíndrica del tanque interno [m]

P . – Presión de diseño del tanque [Pa]

R . – Radio de la superficie interna de tanque [m]

S . – Esfuerzo máximo admisible [Pa]

E . – Eficiencia de la junta soldada [Adim.]

CA. – Espesor de corrosión admisible [mm]

➤ Espesor de las tapas

Al momento de seleccionar una tapa o cabezal para el recipiente a presión se tiene varias alternativas como se ve en la ilustración 2-20, dichas tapas están definidas en el código ASME y para el cálculo del espesor depende del tipo de tapa.

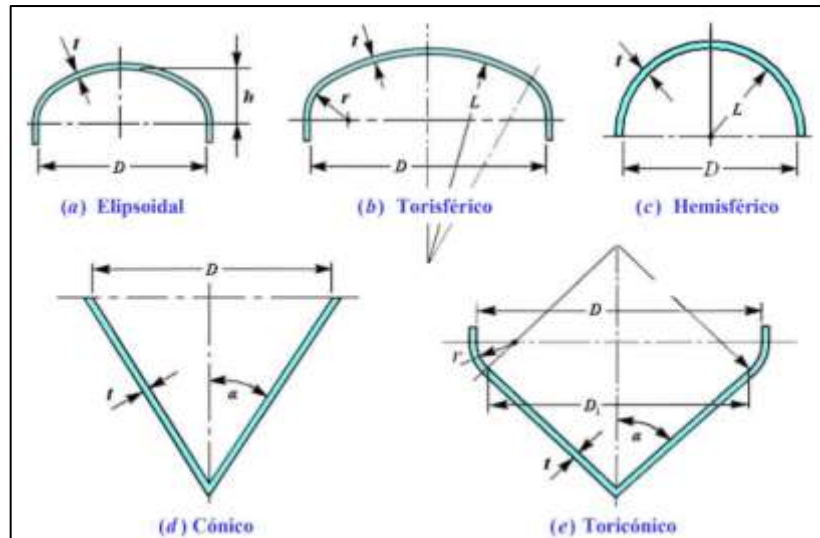


Ilustración 2-21: Tipos de cabezales para recipientes a presión

Fuente: (Calo, 2022, p. 23)

A continuación, se muestra una tabla de resumen con las ecuaciones empleadas para el cálculo de espesores de acuerdo con el tipo de cabezal.

Tabla 2-6: Ecuaciones para el cálculo de espesores de distintos cabezales

Tipo de cabezal	Cálculo del espesor
Elíptico 2:1	$t_r = \frac{P * D}{2 * S * E - 0.2 * P}; \text{Si } t/L \geq 0,002 \text{ y } D/h = 4$
Toriesférico tipo ASME	$t_r = \frac{0.885 * P * L}{S * E - 0.1 * P}; \text{Si } t/L \geq 0,002 \text{ y } r = 0.006L \text{ y } L = D$
Hemisférico	$t_r = \frac{P * L}{2 * S * E - 0.2 * P}; \text{Si } t \leq 0,356 * L \text{ o } P \leq 0.665 * S * E$
Cuerpo cónico	$t_r = \frac{P * D}{2 * \cos(\alpha) * (S * E - 0.6 * P)}; \text{Si } \alpha \leq 30^\circ$
Tapa plana	$t_r = \frac{d}{\sqrt{C' * \frac{P}{S * E}}}$

Fuente: (Calo, 2022, p. 24)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.6.1.7. Materiales

Dentro de la selección de materiales que se emplean en la fabricación de los recipientes a presión usados en la elaboración de cerveza, se debe garantizar que estos sean capaces de resistir ciertas condiciones críticas o de funcionamiento, tales como, la variación de temperatura, la presión generada por el líquido, además de un aspecto fundamental, que deben ser inertes para que el sabor y/o calidad del producto final no sea comprometido. En este contexto, los materiales que son empleados para la construcción de los recipientes a presión en su mayoría son de aceros inoxidables, sin embargo, existen otras alternativas como el aluminio o cobre.

Se establece ciertas características para los materiales previamente mencionados en la fabricación de cerveza artesanal (MicetCraft, n.d.), siendo estas resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 2-7: Características de diversos materiales usados en la fabricación de recipientes

Material	Características
Aluminio	<i>Peso Ligero:</i> Este material el poseer menor densidad que otros aceros lo vuelve idóneo para el transporte del equipo. <i>Buena Conductividad Térmica:</i> Este material se caracteriza por su excelente conductividad térmica, lo que es beneficioso para la fase de cocción. <i>Resistencia a la corrosión:</i> Este material produce una capa de óxido que lo protege de la corrosión, sin embargo, en condiciones de operación no agregara sabores metálicos a la cerveza.
Acero Inoxidable	<i>Resistencia a la Corrosión:</i> Es la principal característica de este elemento, ya que es muy resistente en entornos altamente húmedos y en presencia de líquidos corrosivos. Además de ser inerte, lo que se traduce a que no genera sabores metálicos en el producto final. <i>Durabilidad:</i> Tiene una alta durabilidad lo que provoca que el tanque tenga una larga vida útil. <i>Limpieza:</i> Debido a sus características, este material es fácil de limpiar y esterilizar.
Cobre	<i>Conductividad Térmica:</i> este material posee una conductividad superior al aluminio y el acero inoxidable, lo que es idóneo para la fase de cocción y fermentación. <i>Propiedades Antimicrobianas:</i> Al tener propiedades antibacterianas ayuda a prevenir el crecimiento de bacterias no deseadas. <i>Estética:</i> Al ser un material atractivo, varios artesanos optan por utilizarlo.

Fuente: (MicetCraft, n.d.)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.6.2. Sistema de mezclado

El sistema de mezclado o agitación implica el movimiento controlado del mosto. Este sistema, en la fase de cocción, facilita a la mezcla, transferencia de calor y homogeneidad del producto, lo que se traduce a una distribución uniforme de la materia prima y a la correcta extracción de azúcares, proteínas y enzimas de la malta. Por otro lado, en la fase de fermentación, permite la correcta distribución de levaduras y flora bacteriana que es beneficioso para la transformación de azúcares en alcohol y dióxido de carbono.

Para la elaboración de este sistema, se propone incorporar un agitador al recipiente de cocción, teniendo en cuenta diversas variables como la viscosidad, el tipo de recipiente y se debe garantizar una velocidad angular baja para asegurar una mezcla homogénea y así evitar fenómenos de turbulencia dentro del recipiente.

2.6.2.1. Tipos de agitadores

Dentro de los tipos de agitadores que son empleados para aplicaciones cuyos fluidos son de una viscosidad media y alta, como lo es en la elaboración de cerveza artesanal se tiene:

➤ Agitador de turbina

Al referirse a un agitador de turbina, hace mención a un impulsor en donde las aspas se caracterizan por tener un ángulo entre 0° y 90° . Estos agitadores trabajan con velocidades medias o elevadas, y sus aspas pueden tener distintas configuraciones geométricas como rectas, curvas o angulares (Erazo & Vizuite, 2011, p. 18).

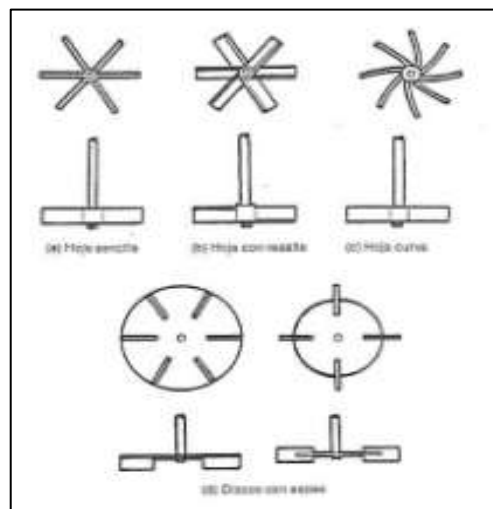


Ilustración 2-22: Agitadores de turbina

Fuente: (Castillo & Marcillo, 2018, p. 35)

➤ Agitador de paletas

Este tipo de agitadores consiste en un o una serie de brazos montados sobre un eje vertical, en donde, cada serie puede estar conformada de 2 o más paletas que entran en contacto con el líquido de manera frontal. Dichos agitadores generan un flujo radial y son ampliamente usados debido a la fácil modificación o adaptabilidad en el entorno que se vea implicado (Erazo & Vizuite, 2011, p. 22).

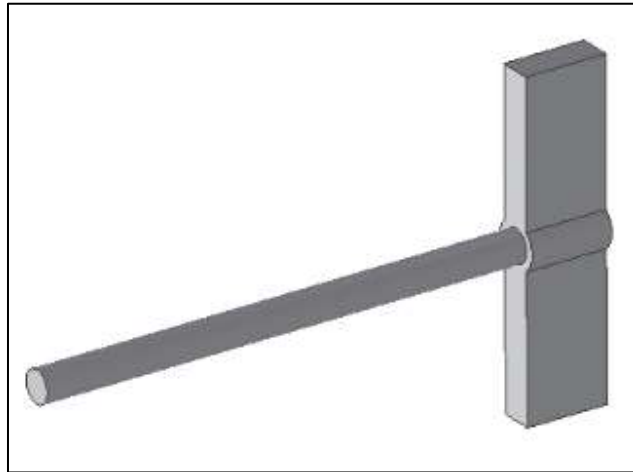


Ilustración 2-23: Agitador de paletas

Fuente: (Erazo & Vizuite, 2011, p. 22)

➤ Agitadores tipo ancla

Este tipo de agitadores, están conformados por una serie de brazos montados en el mismo plano y ensamblados en el mismo eje. El flujo que generan estos agitadores corresponde a un flujo radial, son usados cuando se requiere un fluido en estado laminar, es decir, cuando las velocidades de operación oscilan entre 20 y 150 rpm. Debido a su configuración, las partículas en el entorno no se adhieren a las paredes del agitador, por lo que se vuelve ideal cuando se busca evitar la acumulación de partículas sólidas (L. González, 2016, p. 15).

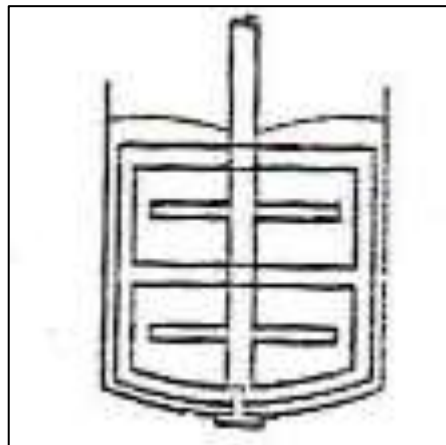


Ilustración 2-24: Agitador tipo ancla

Fuente: (Castillo & Marcillo, 2018, p. 34)

2.6.2.2. *Potencia del agitador*

De los tipos de agitadores que se ha visto previamente, existe un parámetro en común, este es el diámetro de rodete que se calcula mediante la siguiente expresión (Sinnott & Towler, 2012, p. 651):

$$D_a = 0,6 * D_T$$

Ecuación 2-2

Donde:

D_a . – Diámetro del rodete [m]

D_T . – Diámetro del recipiente [m]

Una vez que se obtiene del diámetro del rodete, se puede calcular la potencia de agitador, a partir del número de Reynolds y el número de potencia, que son valores adimensionales con las siguientes fórmulas (Sinnott & Towler, 2012, p. 652):

$$N_{Re} = \frac{D_a * N * \rho}{\mu}$$

Ecuación 2-3

Donde:

N_{Re} . – Número de Reynolds [Adim.]

N . – Velocidad de rotación [rpm]

ρ . – Densidad del fluido [kg/m^3]

μ . – Viscosidad del fluido [Pa.s]

$$P = N_p * D_a^5 * N^3 * \rho$$

Ecuación 2-4

Donde:

P . – Potencia requerida [Adim.]

N_p . – Número de potencia [Adim.]

2.6.3. Sistema de calefacción

El sistema de calefacción consta de un equipo cuya función es transferir calor al mosto para su cocción, el cual debe garantizar la temperatura óptima para que el mosto libere las enzimas y proteínas deseadas. La elección del sistema depende en gran medida de las preferencias del artesano cervecero, el tamaño de la producción y de la economía.

Existen diversos métodos de cocción y equipos para elevar la temperatura del mosto, de los cuales se puede dividir de la siguiente manera:

2.6.3.1. Calentadores directos

Este tipo de calentadores usan un método directo de transferencia de calor, es decir, que la energía térmica se aplica directamente al medio para incrementar su temperatura. Dentro de este tipo tenemos a las resistencias eléctricas y quemadores.

➤ Quemadores

Este componente es el encargado de combinar el gas con el aire de la atmósfera para iniciar con el proceso de combustión. La salida de la mezcla se lleva a cabo en los orificios que están ubicados en la cabeza del quemador (Cointra, 2018).



Ilustración 2-25: Quemador
Fuente: (Definicion.de, 2008)

➤ Calentador eléctrico

Este dispositivo está en contacto directo con el medio a calentar, su instalación se realiza mediante el acople de este dispositivo a una brida presente en el recipiente mediante pernos sujeción. El material puede variar desde el cobre, acero, acero inoxidable o aleaciones de níquel-cromo (Ricaurte, 2016, p. 13).

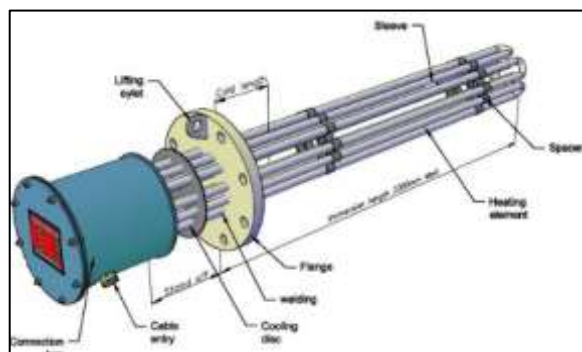


Ilustración 2-26: Calentador eléctrico
Fuente: (Ricaurte, 2016, p. 16)

2.6.3.2. Calentadores indirectos

En este tipo de equipos, el producto no entra en contacto directo con la fuente de calor. Por lo tanto, el calor se trasfiere a través de una superficie o líquido, un claro ejemplo de este sistema son las chaquetas.

➤ Chaqueta

Al hablar de chaqueta, se hace mención a un doble fondo en el recipiente, por donde circula un fluido caliente lo que provoca, en este caso, la cocción del mosto. Estos sistemas son poco eficientes, además de ser difíciles de limpiar (Ricaurte, 2016, p. 11).

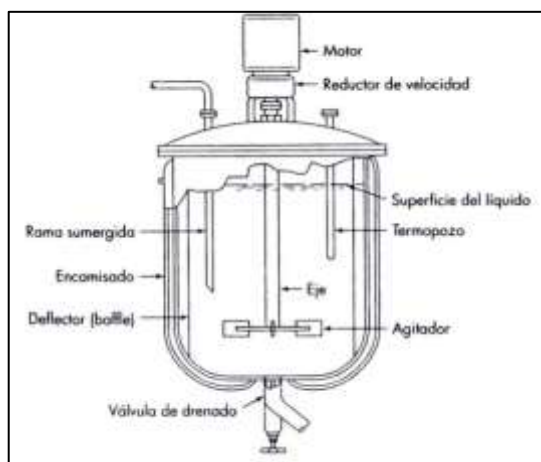


Ilustración 2-27: Recipiente enchaquetado

Fuente: (Rolón-Ortiz et al., 2019, p. 42)

2.6.4. Sistema de refrigeración

Como se mencionó anteriormente, después de la fase de cocción se requiere que el mosto reduzca su temperatura a la temperatura de fermentación, para llevar este proceso a cabo, se hace uso de un elemento mecánico conocido como un intercambiador de calor, que al reducir la temperatura de manera eficiente favorece a la obtención de características deseadas en el producto final, tales como el sabor y aroma. Dentro del extenso grupo de los intercambiadores de calor, se hará énfasis en los equipos que son habitualmente usados en la elaboración de cerveza artesanal.

2.6.4.1. Serpentin

De acuerdo con Rodríguez (n.d., p. 667), un serpentín es un intercambiador de calor que consta de un tubo enrollado en forma helicoidal, y está sumergido en el recipiente. Tiene varias ventajas como una construcción sencilla y un costo relativamente bajo. Las tuberías con las que trabaja este equipo oscilan entre $\frac{3}{4}$ a 2 in.

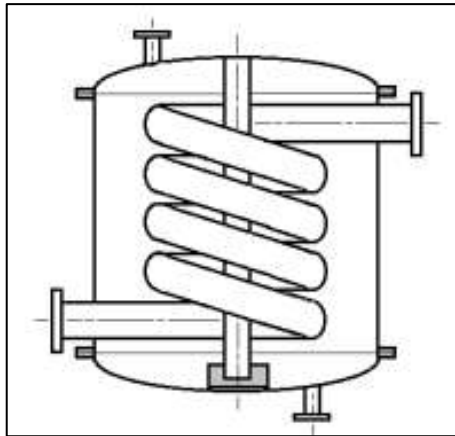


Ilustración 2-28: IDC tipo serpentín helicoidal

Fuente: (Pérez Sánchez et al., 2019, p. 63)

2.6.4.2. Intercambiador de placas

Otro tipo de intercambiador que es ampliamente usado es el de placas, este está conformado por una serie de láminas metálicas que están conectadas de tal manera que el fluido refrigerante entra en contacto con cada lamina, y el fluido caliente pasa por una serie de tubos. Este equipo es de fácil desmontaje y así facilita su limpieza.

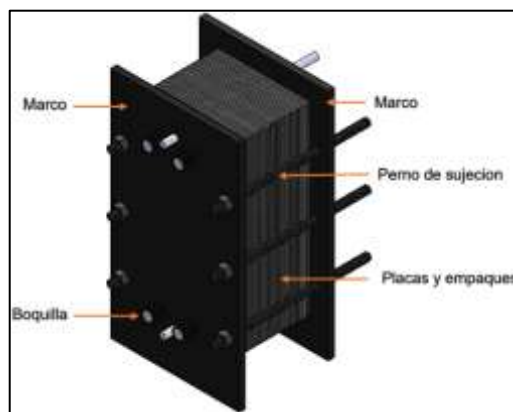


Ilustración 2-29: Intercambiador de placas

Fuente: (Díaz & Vega, 2017, p. 8)

2.7. Diseño del sistema hidráulico

En la elaboración de cerveza artesanal, es importante transportar el fluido de un recipiente a otro, ya sea del recipiente de maceración al recipiente de cocción, o del recipiente de cocción al fermentador, por lo que se requiere un sistema de tuberías y de bombeo que sea capaz de cumplir con este objetivo.

Por lo tanto, el sistema hidráulico abarca ciertos factores como la selección de la bomba, el dimensionamiento de las tuberías, la selección de materiales de las tuberías, así como garantizar presiones y caudales óptimos.

2.7.1. Selección de la bomba

De acuerdo con Robledo (2006, p. 63), se establece a una bomba como una maquina formada por elementos rotativos denominados como paletas dentro de una carcasa, en donde las paletas imparten energía al fluido debido a la fuerza centrífuga. En otras palabras, este equipo permite que el fluido se desplace de un punto a otro, pero hay que considerar ciertos factores como la presión, caudal y diámetro de la tubería para su correcto funcionamiento.

Por otro lado, para la correcta selección de la bomba hace falta conocer los conceptos de curva resistente y curva característica, en donde, la curva resistente es una representación gráfica de la altura manométrica en función del caudal. Dicha curva depende de gran manera del desnivel geométrico de la instalación, la diferencia de presiones y las pérdidas de carga (Chuquín et al., 2019, pp. 169–172). Finalmente, la curva característica depende del tipo de bomba que se requiere según las necesidades y la disponibilidad en el mercado.

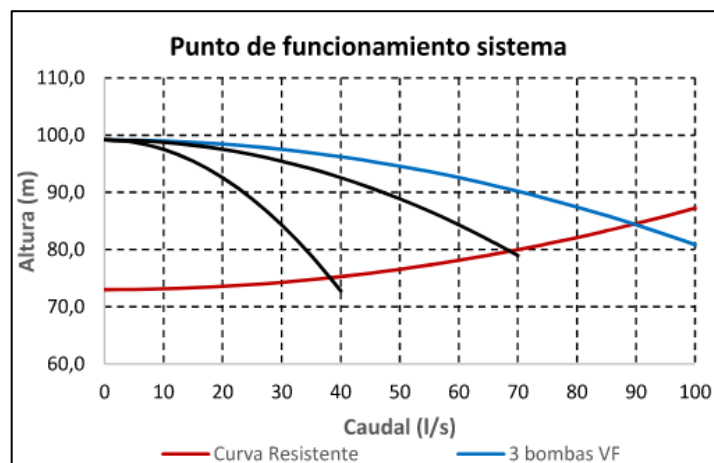


Ilustración 2-30: Curva característica y resistente

Fuente: (Arviza & Palau, n.d., p. 4)

Para encontrar la curva resistente del sistema, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$H_r = (Z_B - Z_A) + \left(\frac{P_B}{\gamma} - \frac{P_A}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_B^2}{2g} - \frac{V_A^2}{2g} \right) + \sum \frac{8f(L+L_e)Q^2}{g\pi^2 D^5} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Dónde:

$Z_{A/B}$. – Altura piezométrica en el punto de análisis [m]

$P_{A/B}$. – Presión en el punto de análisis [Pa]
 $V_{A/B}$. – Velocidad en el punto de análisis [m/s]
 γ . – Peso específico del fluido [N/m^3]
 f . – Factor de fricción [*Adim.*]
 L . – Longitud de tubería [m]
 L_e . – Longitud equivalente de los accesorios [m]
 Q . – Caudal [m^3/s]
 g . – gravedad [m/s^2]
 D . – Diámetro de la tubería [m]

De acuerdo con la Ecuación 2-5, el último término corresponde a las pérdidas totales presentes en el sistema. Dichas pérdidas es la sumatoria de las pérdidas primarias o pérdidas por efecto de la longitud de la tubería y las pérdidas secundarias producto de los accesorios presentes en el sistema, sin embargo, las pérdidas secundarias se pueden expresar en función de una longitud equivalente.

2.7.1.1. *Pérdidas por efectos de la longitud de tubería*

Las pérdidas por longitud de tubería se definen como pérdidas de superficie ya que el fluido se encuentra en contacto con la tubería, lo que provoca un rozamiento de las capas límites en régimen laminar o régimen turbulento con dichas paredes (Melchor, 2009, p. 36).

De acuerdo con Chuquin (2019, p. 40), estas pérdidas se producen a lo largo de la tubería y la manera más común para el cálculo de estas pérdidas es usar la ecuación de Darcy – Weisbach que se muestra a continuación:

$$h_p = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \quad \text{Ecuación 2-6}$$

Para encontrar el factor de fricción hace falta conocer el número de Reynolds, el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 2-7}$$

Donde:

V . – Velocidad de fluido [m^2/s]

ρ . – Densidad del fluido [kg/m^3]

μ . – Viscosidad absoluta del fluido [$Pa \cdot s$]

Una vez que se encuentra el número de Reynolds, hace falta categorizarlo dentro del estado laminar o turbulento. Para un estado laminar el número de Reynolds es menor a 2100, y para un flujo turbulento el número es mayor a 3500. Según el estado del fluido, se usa las siguientes fórmulas para calcular el factor de fricción:

➤ Estado laminar

$$f = 64/Re \quad \text{Ecuación 2-8}$$

➤ Estado turbulento

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)\right)^2} \quad \text{Ecuación 2-9}$$

Donde:

ε . – Rugosidad absoluta de la tubería [m]

2.7.1.2. Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias o también conocidas como pérdidas por accesorios, las pérdidas de energía son directamente proporcionales a la velocidad del fluido según atraviese un accesorio como un codo, reducción, expansión, unión, válvulas, entre otros (Mott, 2006, p. 281).

De acuerdo con Chuquin (2019, p. 60), en la vida práctica comúnmente se añade un porcentaje de las pérdidas secundarias del total de las pérdidas primarias. Se añade un valor de 10% cuando la velocidad promedio de fluido ronda los 2 m/s y un valor de 5% cuando la velocidad es inferior a 1 m/s.

A continuación, se muestra el valor de la longitud equivalente en diámetros de tubería de distintos accesorios, cabe recalcar que estos valores son referenciales y lo más recomendado es buscar en ábacos o datasheet del fabricante seleccionado.

ACCESORIOS	Le/D
Válvula de globo (abierta por completo)	340
Válvula de ángulo (abierta por completo)	150
Válvula de compuerta (abierta por completo)	8
3/4 abierta	35
1/2 abierta	160
1/4 abierta	900
Válvula de verificación tipo giratorio	100
Válvula de pie tipo bola	150
Válvula de mariposa (abierta por completo) 2 - 8"	45
10 - 14 pulgadas	35
16 - 24 pulgadas	25
Válvula de pie (tipo disco vástago)	420
Válvula de pie (tipo disco de bisagra)	75
Codo estándar a 90°	30
Codo 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Té estándar con flujo directo	20
Con flujo en ramal	60
Uniones	1

Ilustración 2-31: Longitud equivalente en diámetros de tubería

Fuente: (Chuquín et al., 2019, p. 61)

Para encontrar la longitud equivalente se usa la siguiente formula:

$$L_e = (L_e/D) * D \quad \text{Ecuación 2-10}$$

Donde:

D . – Diámetro del accesorio [m]

Una vez que se ha encontrado el valor de la longitud equivalente del accesorio se añade a la ecuación de Darcy-Weisbach, dando como resultado las pérdidas totales del sistema, viéndose expresado de la siguiente manera:

$$H_t = \frac{8 * f * (L_{tuberia} + L_{equivalente}) * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \quad \text{Ecuación 2-11}$$

2.7.2. Dimensionamiento de las tuberías

El dimensionamiento de las tuberías empieza con la búsqueda de ciertos factores claves como el caudal requerido y la velocidad del fluido. De acuerdo con Chuquín (Chuquín et al., 2019, p. 32), a continuación, se muestra una tabla de las velocidades recomendadas para distintas aplicaciones:

Tabla 2-8: Velocidades recomendadas

FLUIDO	MAQUINA	CONDUCTO	VELOCIDAD (m/s)	NOTAS
AGUA	Bombas volumétricas	Succión	0,5 a 1,0	
		Expulsión	1,0 a 2,0	
	Bombas rotodinámicas	Succión	0,5 a 2,5	Baja presión
		Expulsión	1,5 a 4,5	Alta presión
	Turbinas hidráulicas	Succión y expulsión	2,5 a 3,5	Tubería larga
		Succión y expulsión	4,0 a 6,0	Tubería corta

Fuente: (Chuquín et al., 2019, p. 32)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Por lo tanto, el diámetro de la tubería se encuentra con la siguiente expresión:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi V}} \quad \text{Ecuación 2-12}$$

Cabe mencionar que el diámetro que se encuentra con la ecuación anterior es el diámetro calculado, por lo que se debe encontrar un diámetro normalizado disponible en el mercado a partir del valor calculado.

2.7.3. Materiales

A continuación, se enlista diversos materiales que son usados en aplicaciones de piping.

Tabla 2-9: Propiedades de distintos materiales

Tipo	Resistencia a la tracción	Densidad	Rugosidad absoluta	Conductividad termina	Notas
	MPa	g/cm ³	μm	W/(m°K)	
Acero al carbono	400 a 600	7,85	0,1 a 5	50	Durabilidad
Acero inoxidable	600 a 900	7,10	0,1 a 5	17 a 25	Resistencia a la corrección
Cobre	200 a 300	8,96	0,5 a 1,5	390	Maleabilidad
PVC	45 a 55	1,35	0,2 a 10	0,14	Ligereza, resistencia química
CPVC	55 a 70	1,55	0,2 a 10	0,14	Resistencia química
PEX	20 a 30	0,94	0,1 a 1	0,35	Resistencia a la corrección
Hierro fundido	150 a 300	7,2 a 7,4	20 a 50	40 a 60	Durabilidad

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.8. Diseño de la estructura metálica

Una parte fundamental en el proceso de elaboración de cerveza artesanal es la estructura en donde los equipos se van a asentar, dicho esto, se requiere que la estructura en mención posea distintas características como la resistencia, durabilidad y versatilidad. Por ende, la normativa AISC 360 define los criterios de diseño, así como los parámetros para garantizar la seguridad y eficiencia en la construcción de las estructuras.

El proceso de diseño de los miembros de la estructura consiste en encontrar una sección que resista los esfuerzos de compresión y flexión, además de las deformaciones provocadas por el peso de los equipos



Ilustración 2-32: Estructura metálica

Fuente: (123RF, 2023b)

2.9. Instrumentación

La instrumentación presente en la planta de elaboración de cerveza artesanal tiene lugar en los procesos de cocción, enfriado y fermentación, la instrumentación tiene como objetivo la medición directa de las variables de temperatura en la fase de cocción, enfriado y presión en la fase de fermentación.

2.9.1.1. Indicadores de temperatura

Este elemento es un componente clave en el monitoreo y control de temperatura en la elaboración de cerveza artesanal en los procesos de cocción, enfriamiento y maceración. En el mercado existen diferentes tipos de indicadores de los cuales se puede mencionar a los más usados como los termómetros de mercurios, termómetros bimetalicos, termómetros infrarrojos, termómetros de resistencia de platino (RTD). Su elección depende en gran medida de la disponibilidad, rango de temperatura, material y robustez. En la siguiente tabla se enlista los recipientes en los que se requiere de un indicador de temperatura:

Tabla 2-10: Ubicación de indicadores de temperatura

Proceso	Recipiente	Rango de temperaturas	Notas
Maceración	Tanque de maceración	62-67°C	
Cocción	Tanque de cocción	100°C	
Enfriamiento	Intercambiador de calor	18-24°C, 8-13°C	Cerveza Ale y Lager respectivamente
Fermentación	Tanque de fermentación	18-24°C, 8-13°C	Cerveza Ale y Lager respectivamente

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

2.9.1.2. Indicadores de presión

Los indicadores de presión son dispositivos destinados a la medición de la presión de distintos fluidos (líquidos o gases) en un sistema (Hidráulica Balcon S.L, 2013). Durante la fase de fermentación, cuando las levaduras convierten los azúcares en alcohol generan la liberación dióxido de carbono lo que genera presión dentro del fermentador, por lo que el recipiente requiere de un indicador de presión que permita observar a que presión está sucediendo el proceso.



Ilustración 2-33: Manómetro digital
Fuente: (GSL Industrias, 2023)

2.9.1.3. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia, para el uso de motores eléctricos, juega un papel importante ya que controlan la velocidad de giro del motor para que esta cumpla con los estándares que se requiera. Por ende, este componente puede reducir el consumo energético entre un 20 y 70% (ABB, 2023).

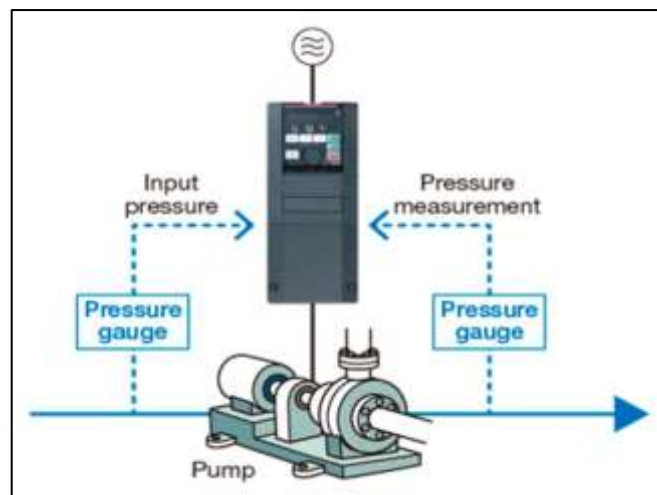


Ilustración 2-34: Variador de frecuencia en una bomba
Fuente: (AmatsElectric, 2015)

En el presente proyecto, el variador de frecuencia se usa para garantizar una presión constante a lo largo de una línea de tuberías esto se logra controlando la velocidad de motor de la bomba.

2.9.1.4. Botonera

Por ultimo y no menos importante, la botonera es un sistema de componentes que contienen los elementos para encender o apagar el sistema eléctrico de la planta, este sistema cuenta con elementos de seguridad como paros de emergencia, fusibles, luces de señalización, entre otros. En la siguiente ilustración se observa una configuración básica de un panel de control o botonera.



Ilustración 2-35: Botonera
Fuente: (123RF, 2023a)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se abordará los procedimientos metodológicos necesarios para dimensionar, diseñar, seleccionar y construir la planta de cerveza artesanal. Es así, que para el proyecto en cuestión se plante usar la metodología VDI 2221 creada por la asociación de ingenieros alemanes.

3.1. Metodología de diseño

La metodología VDI 2221 tiene un enfoque sistemático por lo que es ampliamente usada en el diseño de productos y procesos. Esta metodología se basa en la ingeniería concurrente, es decir el desarrollo de habilidades para una eficiente gestión de procesos industriales, por lo tanto, esta metodología busca perfeccionar el diseño a partir de la optimización de costos, técnicas, entre otros. Al aplicar esta metodología en una planta de elaboración de cerveza se tiene como resultado un diseño optimo, una estructura de procesos eficiente y un plan de mantenimiento organizado. En la siguiente ilustración se muestra la secuencia de pasos que intervienen en la metodología en cuestión:

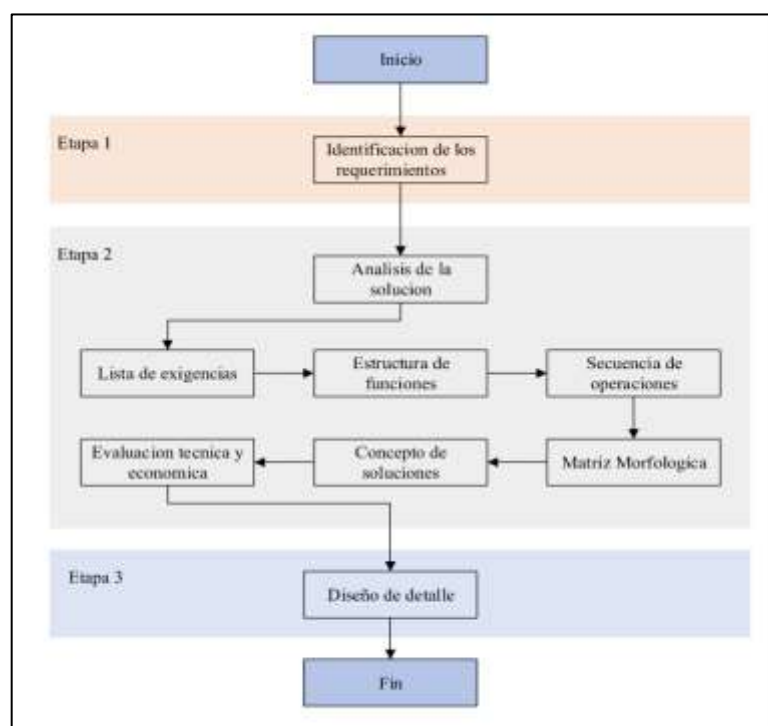


Ilustración 3-1: Procedimiento de la metodología VDI 2221

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.1.1. Identificación de requerimientos

En este apartado se realiza de identificación de ciertos requerimientos claves del cliente que son fundamentales para el diseño, dimensionamiento y construcción de los equipos que componen una planta cervecera.

De acuerdo con las especificaciones del cliente, se requiere que la planta opere desde la fase de maceración hasta la fase de enfriamiento del producto, puesto que el cliente ya posee los equipos necesarios para las fases de fermentación y embotellado. A continuación, se enlista los requerimientos que se necesita para que la planta opere de una manera eficiente.

- Requerimientos del producto. En este ítem se establece los requerimientos generales de producción como el volumen de la planta, los tipos de cerveza que se producen, así como los requisitos de calidad de la bebida final
- Requerimientos de proceso. En este ítem se establece los parámetros de diseño como la presión y temperatura de funcionamiento para cada equipo de acuerdo con la fase en la que se encuentre. Además, se establece el diagrama de flujo del proceso de elaboración del mosto. Y finalmente, se establece la continuidad de los procesos de elaboración del producto.
- Materiales. Otro parámetro clave son los materiales con los que se va a trabajar, se requiere que los materiales sean resistentes a la corrosión y además que sean inertes para que no afecten a la calidad de la cerveza.
- Dimensionamiento. Este ítem establece las dimensiones generales que va a tener la planta y de acuerdo con el cliente este parámetro puede ser clave o no.
- Costo. En este apartado se establece la relación costo-beneficio que debe tener la planta, además de establecer los parámetros para seleccionar la calidad de la instrumentación.
- Seguridad y ergonomía. En este apartado se establece las medidas de seguridad que debe poseer la planta, como elementos de visualización y etiquetas de información. Además, se establece las normativas de construcción y finalmente, las condiciones de trabajo que sean adaptadas a las necesidades de los trabajadores, para que estos se puedan desplazar en un ambiente cómodo y eficiente.
- Montaje y desmontaje. En este ítem se establece los requerimientos necesarios para que la planta se pueda desmontar con facilidad y que los elementos que la componen sean fácilmente transportables. Por otro lado, se establece los requerimientos para que a la planta se puedan incorporar otros equipos o para su debida expansión.
- Mantenimiento. En este ítem se establece los parámetros para que los equipos y la planta sean accesibles para un trabajo de mantenimiento rápido y eficiente.

3.1.2. Análisis de la solución

En este apartado se busca evaluar y perfeccionar la solución de acuerdo a una evaluación tanto técnica como económica, en un inicio se parte por definir la lista de exigencias que debe cumplir la planta elaboradora de cerveza.

3.1.2.1. Lista de exigencias

La lista de exigencias proporciona una comprensión completa de las necesidades del cliente a partir de la identificación de los requerimientos, es decir, que refleja los requerimientos que debe cumplir la máquina para obtener un diseño óptimo, confiable y económico. Dentro de la lista de exigencias se detalla elementos claves como los requisitos funcionales, de rendimiento, restricciones técnicas, costos, requisitos de mantenimiento, requisitos ergonómicos, entre otros. En la siguiente tabla se detalla la lista de exigencias para lograr el diseño óptimo de la planta cervecera.

Tabla 3-1: Lista de exigencias

Lista de exigencias			
Proyecto:	Diseño y construcción de una planta cervecera con capacidad de 200 litros para una empresa en la ciudad de Riobamba		
Cliente:			
Cambios	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsables
		Función Principal	
	E	Elaboración de 200 litros de cerveza artesanal.	Tesistas
	E	Elaboración de 2 variedades de cerveza.	
		Equipos	
	D	Especificaciones técnicas de los recipientes (maceración, cocción y climatización del agua)	Tesistas
	E	El intercambiador de calor debe reducir la temperatura de manera rápida y eficiente	
		Materiales	
	E	La tubería estructural de cada tanque debe ser estable y no deformarse en exceso	Tesistas
	E	Los materiales deben soportar condiciones de presión y corrosión	
		Dimensiones	
	E	Los recipientes deben estar diseñados para una producción de 200 litros al día	Tesistas
	D	La planta debe ser compacta y no ocupar espacio innecesario	
		Procesos	
	E	Las fases de maceración, cocción y enfriamiento del producto deben realizarse de manera continua	Tesistas
		Costo	
	E	La planta de elaboración de cerveza deberá tener una relación costo/beneficio aceptable.	Tesistas
	E	La instrumentación debe ser elegida de tal manera que no afecte de manera negativa al producto final	

	E D E E	Seguridad y ergonomía La planta cervecera debe tener elementos de señalización para evitar accidentes Los equipos deben estar ubicados de tal manera que el operario pueda trabajar sin dificultades Los equipos deben estar contruidos con normativas para el manejo de alimentos y bebidas La planta de cervecera debe tener elementos de protección para los equipos eléctricos	Tesistas
	E D	Montaje y desmontaje Los equipos deben ser de fácil desmontaje para su mantenimiento o reemplazo Los equipos deben tener elementos de sujeción para el cambio de locación	Tesistas
	E D E	Construcción Las piezas de los equipos deben ser de fácil construcción y con materiales accesibles El diseño debe permitir que la planta pueda expandirse o modificarse en el futuro Los recipientes y tuberías deber ser sometidos a una inspección contra fugas	Tesistas
	E	Selección de elementos estandarizados Los elementos estandarizados deben ser seleccionados de tal manera que sean de fácil acceso y que no requieran de importación	Tesistas
	D	Protección mecánica Los elementos mecánicos deben poseer un factor de seguridad	Tesistas
	D	Uso Se debe contar con un manual de operación de los equipos	Tesistas
	E	Mantenimiento La planta cervecera debe ser construida de tal manera que los equipos sean accesibles para el mantenimiento o limpieza de recipientes, de manera fácil y económica	Tesistas

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.1.2.2. Estructura de funciones

El análisis de funciones permite identificar los elementos determinantes del sistema y así dar paso a la selección de posibles alternativas para la construcción de la planta cervecera. En un inicio se plantea realizar el diagrama de funciones denominado como “caja negra”, este diagrama plantea las funciones del sistema de manera general que permite obtener una idea amplia del funcionamiento de la planta.

➤ Nivel 0 de la estructura de funciones

La función principal de la planta es producir 200 litros de cerveza, para esto se considera que el sistema debe contar con energía térmica para calentar los tanques de climatización del agua, maceración & recirculado y cocción & Whirlpool, la señal de encendido se requiere para activar los sistemas de bombeo y para producir la agitación de la mezcla en la fase de maceración y la energía manual se requiere para el sistema de Whirlpool, una vez que se obtiene el mosto tratado

en la fase de cocción se procede a enfriarlo que se almacena en los tanques de fermentación en donde se obtiene cerveza y desechos.

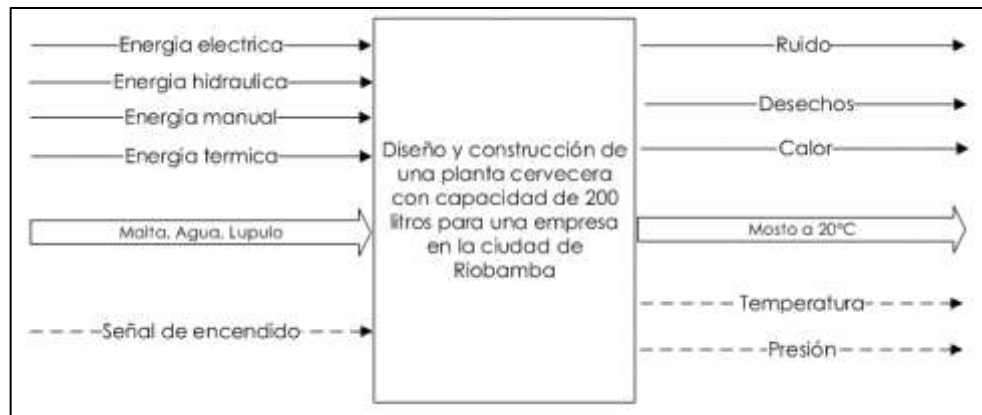


Ilustración 3-2: Caja negra
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

➤ Nivel 1 de la estructura de funciones

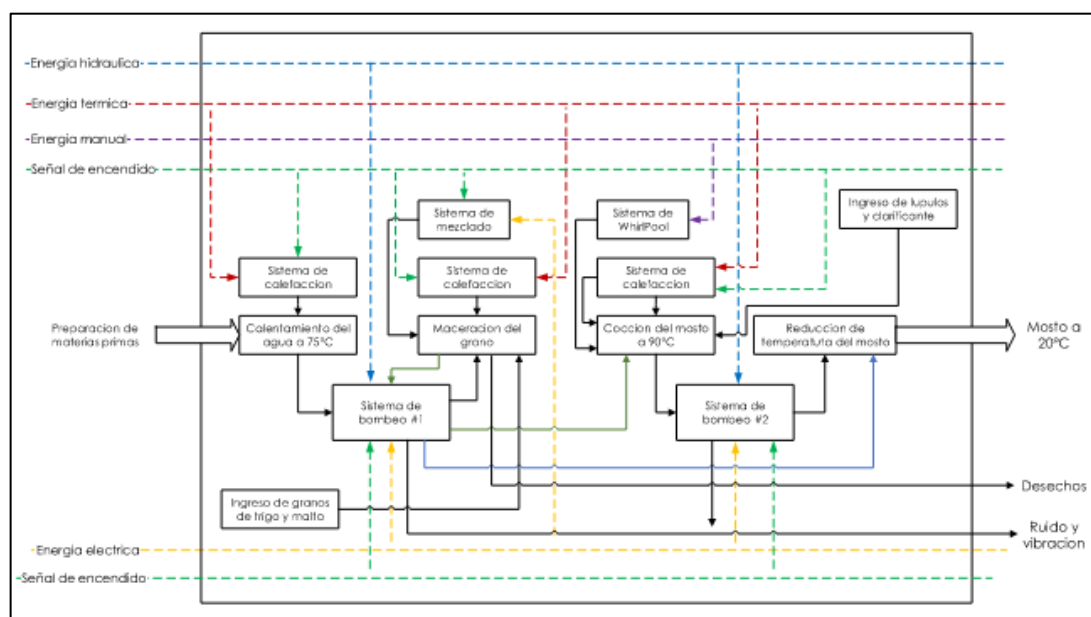


Ilustración 3-3: Análisis funcional en el nivel 1
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Como se muestra en la Ilustración 3-3, se muestra la secuencia de funciones de manera detallada que debe cumplir la planta cervecera para obtener el mosto tratado a 20°C, en una primera instancia se inicia con la preparación de las materias primas, consecuentemente se inicia con el calentamiento del agua a 75°C para pasar al proceso de maceración mediante el sistema de bombeo #1, este mismo sistema hace posible el traslado del líquido al proceso de cocción. Una vez que el proceso de cocción termina el fluido pasa por el intercambiador de calor gracias a

sistema de bombeo #1 y el líquido refrigerante es bombeado con el sistema de bombeo #2, que ayuda a reducir la temperatura del mosto, hasta llegar al proceso de fermentación en donde se produce la cerveza y los desechos que son materias solidas en el fondo del fermentador.

3.1.2.3. *Secuencia de operaciones*

En este ítem se describe de manera detallada el funcionamiento de la planta cervecera, es decir de los procesos y funciones que realiza cada equipo, cabe mencionar que la secuencia de operaciones se deriva del análisis realizado en la estructura de funciones.

➤ Climatización del agua

Previo a la etapa de climatización del agua se debe tratar el grano, es decir, que se debe triturar los granos teniendo en cuenta que no se requiere una trituración completa, más bien se requiere que el grano se rompa sin generar polvo, para evitar sedimentos en los procesos posteriores. Además, es importante que todo el equipo al igual que los instrumentos se encuentren esterilizados.

El calentamiento del agua ocurre en el recipiente de calentamiento, en donde interviene el sistema de calefacción que ayuda elevar el agua a una temperatura de 75°C y posteriormente se traslada el fluido al recipiente de maceración con la ayuda del sistema de bombeo #1.

➤ Maceración del grano

En esta etapa, los granos de malta y trigo previamente tratados ingresan al recipiente de maceración en donde se encuentra agua previamente tratada con un pH neutro. El agua debe estar a una temperatura de 75°C. Los granos se ubican dentro de una malla de maceración y esta entra en contacto con el agua caliente en donde la temperatura se reduce a 68°C, se recomienda mantener esta temperatura constante con la ayuda del sistema de calefacción por un lapso de 70 minutos.

➤ Sistema de mezclado

El sistema de mezclado, que está conformado por un agitador tipo paleta y un motor, se encuentra en el recipiente de maceración y este remueve el grano para garantizar una eficiente extracción de azúcares, el tiempo que se emplea en este proceso es el mismo del proceso de maceración, en esta etapa se obtiene el mosto.

➤ Cocción del mosto.

Esta etapa se lleva a cabo en el recipiente de cocción, en donde se busca esterilizar al mosto por lo que el sistema de calefacción eleva la temperatura del mosto a 100°C aproximadamente, en esta etapa también se agrega los lúpulos y el clarificante para decantar partículas sólidas.

➤ Sistema de Whirlpool

El sistema de Whirlpool está conformado con un agitador tipo paletas en donde el operario debe formar un remolino al mosto que se obtiene en la etapa de cocción, de esta manera se busca concentrar las partículas sólidas en el centro del recipiente.

➤ Sistema de bombeo #1

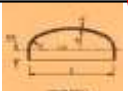
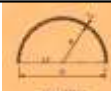
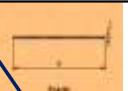
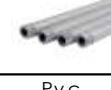
Este sistema está conformado por una bomba y una serie de tuberías con juegos de válvulas que permiten transportar el agua de recipiente de climatización al recipiente de maceración, también permite transportar el mosto del recipiente de maceración al recipiente de cocción y finalmente, transportar el fluido refrigerante para la etapa de enfriamiento del mosto mediante la apertura o cierre estratégico de las válvulas.

➤ Reducción de temperatura del mosto

Esta etapa sucede en el intercambiador de calor, en donde el sistema de bombeo #2 transporta el mosto caliente del recipiente de cocción hacia el intercambiador de calor en donde sucede una reducción de temperatura del mosto a 18°C para así llegar a los tanques fermentadores, por otro lado, el sistema de bombeo #1 transporta el líquido refrigerante del recipiente de climatización hacia el intercambiador de calor y de nuevo desembocar en el recipiente de climatización.

3.1.2.4. Matriz morfológica

Tabla 3-2: Matriz morfológica

Matriz Morfológica				
Proceso	Elemento	Opciones		
		A	B	C
Recipientes de climatización del agua, maceración y cocción	Material	 Aluminio	 Acero inoxidable	
	Tipo de fondo	 Semielíptico	 Semiesférica	 Plano
Sistema de agitación	Tipo de agitador	 Paletas	 Turbina	 Tipo ancla
	Accionamiento	 Manual	 Motor-Reductor	
WhirlPool	Accionamiento	 Bomba	 Agitador	 Manual
Sistema hidráulico	Bombas	 Periférica	 Centrífuga	
	Tipo de válvulas	 De bola	 De compuerta	 De globo
	Material	 Acero inoxidable	 Pvc	 Cobre
Intercambiador de calor	Tipo	 Serpentin	 Chaqueta	 Placas
Sistema de calefaccion	Tipo	 Quemador	 Resistencia electrica	 Chaqueta
Instrumentacion	Indicador de temperatura	 Indicador local	 Transmisor	 Switch
Solucion		Solucion A	Solucion B	Solucion C

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la tabla 3.2 se muestra la matriz morfológica que es la encargada de generar las posibles soluciones que se obtienen a partir de la estructura de funciones que se definió en la sección anterior y teniendo en cuenta los requerimientos del cliente de la lista de exigencias.

En la matriz morfológica se dividirá la función principal en funciones parciales con el fin de identificar de mejor manera los elementos que cumplan con dicha subfunción, las funciones principales son:

- Recipientes de climatización del agua, maceración y cocción
- Sistema de agitación
- Whirlpool
- Sistema hidráulico
- Intercambiador de calor
- Sistema de calefacción
- Instrumentación

3.1.2.5. Concepto de soluciones

En la siguiente tabla se describe de manera detallada las soluciones encontradas en la matriz morfológica según la función principal.

Tabla 3-3: Alternativas de solución

Función	Solución A	Solución B	Solución C
Recipientes de climatización del agua, maceración y cocción	El material con el que se va a fabricar los recipientes es acero inoxidable, todos tienen un cuerpo cilíndrico y la tapa del fondo es una cabeza plana	Los recipientes serán fabricados con aluminio, de igual manera el cuerpo de los recipientes es cilíndrico y la tapa del fondo es semielíptica	Los recipientes se van a fabricar con acero inoxidable, el cuerpo es cilíndrico y el tipo de fondo es semiesférico
Sistema de agitación	La agitación del mosto se producirá con la ayuda de un agitador de paletas desfasadas y el tipo de accionamiento se da a cabo con un motorreductor	La agitación se lleva a cabo con un agitador tipo turbina y su accionamiento es manual	El tipo de agitador corresponde a un agitador tipo ancla y su accionamiento es con la ayuda de un motorreductor
Whirlpool	El Whirlpool se realiza de manera manual y con un agitador de paletas	Este proceso se lleva a cabo de manera manual sin el uso de un agitador	Este proceso se realiza con una bomba, en donde las tuberías se encuentran de manera tangencial al recipiente de cocción.
Sistema hidráulico	El material con el que están conformadas las tuberías del sistema son de acero inoxidable, las válvulas que se utilizan para cerrar las tuberías son de bola y el tipo de bomba con el que se va a trabajar corresponde a una bomba centrífuga	En este caso las tuberías son de cobre, el tipo de válvula con la que se va a controlar el sistema corresponde a una válvula de globo y finalmente la bomba es de tipo centrífuga	El material de las tuberías es de acero inoxidable, son controladas por una válvula de compuerta y accionadas por una bomba periférica
Intercambiador de calor	Se usará un intercambiador de placas accionado por una bomba centrífuga	En este caso se usará un serpentín para enfriar el mosto en donde la tubería es de cobre	En este caso el mosto es enfriado por un intercambiador tipo chaqueta accionado por una bomba periférica
Sistema de calefacción	El sistema de calefacción usado para controlar la temperatura en los tres recipientes corresponde a un quemador	La temperatura de los tres recipientes será controlada por una resistencia industrial eléctrica	En este caso una chaqueta será la encargada de controlar la temperatura de los tres recipientes
Instrumentación	Finalmente, la instrumentación para medir la temperatura corresponde a un termómetro local	En este caso la temperatura es visualizada y controlada por un switch	La temperatura es visualizada por un transmisor digital

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.1.2.6. Evaluación de las soluciones

En este apartado se realiza un análisis técnico y económico tomando en cuenta la norma VDI 2221 con el fin de encontrar la solución más viable según los requerimientos del cliente. Los criterios de evaluación surgen de los requerimientos del cliente vistos en la lista de exigencias, el valor del peso ponderado se califica de acuerdo con el grado de importancia de la variable y el puntaje “p” se puntúa de acuerdo con el grado de satisfacción de la solución. A continuación, se muestra una tabla en donde se hace un análisis técnico.

Tabla 3-4: Evaluación técnica

DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS												
Proyecto: Diseño y construcción de una planta cervecera con capacidad de 200 litros para una empresa en la ciudad de Riobamba												
Escala de valores según VDI 2225 con puntaje p de 0 a 4: 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (Ideal) g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación 1=Importante, 2=Muy importante, 3=Imprescindible												
Criterios técnicos de evaluación para diseños en pase de conceptos o proyectos												
Variante de Concepto					Sol. A		Sol. B		Sol. C		Sol. Ideal	
Nº	Criterios de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Calidad de materiales	3	4	12	3	9	4	12	4	12	4	12
2	Dimensiones	2	3	6	2	4	2	4	4	8	4	8
3	Procesos	2	3	6	1	2	3	6	4	8	4	8
4	Seguridad y ergonomía	3	2	6	3	9	1	3	4	12	4	12
5	Montaje y desmontaje	2	3	6	4	8	1	2	4	8	4	8
6	construcción	2	4	8	3	6	1	2	4	8	4	8
7	Selección de elementos estandarizados	3	4	12	4	12	1	3	4	12	4	12
8	Protección mecánica	2	2	4	2	4	3	6	4	8	4	8
9	Uso	2	3	6	1	2	2	4	4	8	4	8
10	Mantenimiento	3	4	12	1	3	3	9	4	12	4	12
11	Resistencia a la corrosión	3	4	12	3	9	3	9	4	12	4	12
Puntaje máximo				90		68		60		108		
Valor técnico			0.83		0.63		0.56		1			
Orden			1		2		3					

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se hace el análisis económico de las distintas soluciones.

Tabla 3-5: Evaluación económica

DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS										
Proyecto: Diseño y construcción de una planta cervecera con capacidad de 200 litros para una empresa en la ciudad de Riobamba										
Escala de valores según VDI 2225 con puntaje p de 0 a 4: 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (Ideal) g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación 1=Importante, 2=Muy importante, 3=Imprescindible										
Criterios económicos de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variante de Concepto				Sol. A		Sol. B		Sol. C		Sol. Ideal
Nº	Criterios de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costo de materiales	3	4	12	3	9	4	12	4	12
2	Costo de los recipientes	2	4	8	3	6	1	2	4	8
3	Costo del sistema de tuberías	2	3	6	3	6	3	6	4	8
4	Costo del intercambiador de calor	3	2	6	4	12	1	3	4	12
5	Costo del sistema de calefacción	2	4	8	3	6	1	2	4	8
6	Costo de construcción	2	3	6	3	6	1	2	4	8
7	Costo de elementos estandarizados	3	4	12	3	9	2	6	4	12
8	Costo de transporte	2	3	6	2	4	2	4	4	8
9	Costo de mantenimiento	3	4	12	2	6	2	6	4	12
Puntaje máximo				76		64		43		88
Valor técnico				0.86		0.73		0.49		1
Orden				1		2		3		

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Para encontrar una solución viable se grafica los calores de la evaluación técnica (eje X) y los valores de la evaluación económica (eje Y) y se traza una recta hacia la intersección de la unidad, el punto que más se acerque a esta recta es la solución con la que se trabajara. En la siguiente ilustración se puede observar que la solución a los requerimientos del cliente corresponde a la Solución A.

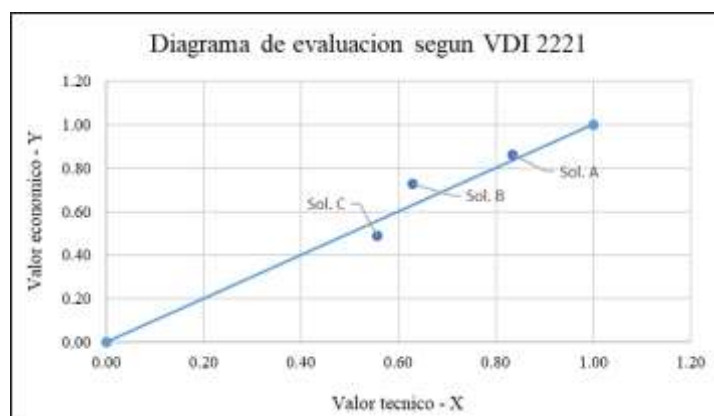


Ilustración 3-4: Diagrama de evaluación según VDI 2221.

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.2. Diseño de detalle

En este apartado se expondrá el diseño de los equipos mecánicos, el diseño del sistema hidráulico y finalmente el diseño de la estructura metálica que intervienen en la planta para la elaboración de cerveza artesanal. Este proceso se basa en el fundamento teórico que se encuentra en el capítulo 2.

3.2.1. Diseño de equipos mecánicos

La planta está conformada por 3 recipientes, el tanque de climatización de agua en donde se eleva la temperatura del agua que se ocupa en la fase de maceración, el tanque de maceración que es en donde se remoja la malta y el tanque de cocción en donde se hierve el mosto. En una primera instancia es importante definir el volumen de diseño, este volumen se obtiene a partir del volumen máximo de producción de la planta. De acuerdo con León J. (2001, p. 180), se recomienda diseñar a los recipientes a presión para almacenar un 20% más del volumen de producción para absorber las dilataciones térmicas. La planta cervecera tiene que producir un volumen máximo de 200 litros, por lo tanto, para calcular el volumen de diseño del recipiente se usa la siguiente ecuación:

$$V_d = V_{max} * F_s \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde

V_d . – Volumen de diseño del recipiente [m^3]

V_{max} . – Volumen máximo de producción de cerveza [m^3]

F_s . – Factor de seguridad de volumen [*Adim.*]

Previo al diseño de los recipientes, se debe establecer las condiciones de operación, como los recipientes están abiertos a la atmosfera no poseen presión interna, por lo tanto, solo están sometidos a presión hidrostática. Del análisis expuesto en la metodología de diseño, se plante usar el acero inoxidable AISI 304 y en donde una de sus aplicaciones es para el sector alimenticio, sus propiedades mecánicas se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 3-6: Propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304

Resistencia a la fluencia:	$S_y = 18 \text{ kg/mm}^2$.	$S_y = 176,519 \text{ MPa}$.
Resistencia ultima:	$S_{ut} = 49 \text{ kg/mm}^2$.	$S_{ut} = 480,525 \text{ MPa}$.
Módulo de elasticidad:	$E = 19680,52 \text{ kg/mm}^2$	$E = 193 \text{ GPa}$
Porcentaje de elongación:	$\%_{em} = 40 \%$.	

Fuente: (ImportAceros, n.d.)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

También es importante categorizar el tipo de junta soldada para el recipiente a presión, de acuerdo con la normativa ASME, la categoría de junta para elementos sometidos a esfuerzo circunferencial corresponde a una categoría A y la categoría que corresponde a las juntas de conexiones ya sea en el cilindro, transiciones o cabeza corresponde a una categoría D.

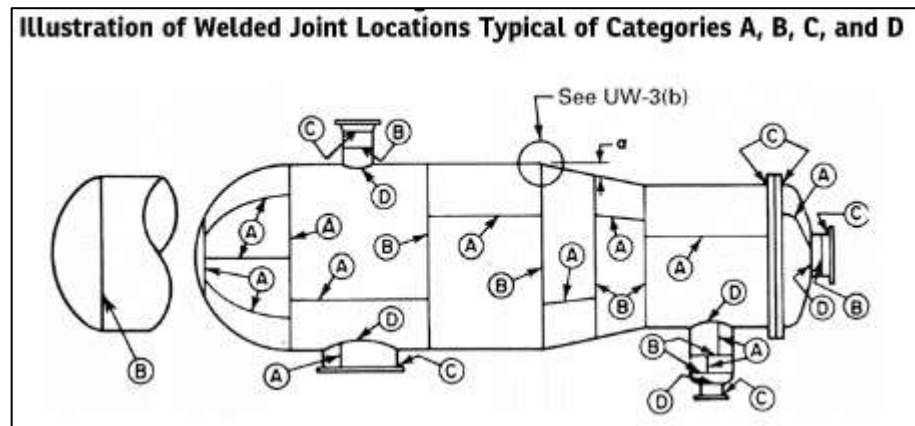


Ilustración 3-5: Categoría de la junta soldada

Fuente: (ASME VIII. División 1, 2013, p. 116)

Una vez establecido la categoría de las juntas es necesario encontrar la eficiencia de la junta, esta depende del nivel de radiografiado, es decir el nivel de examinación de la junta, y el tipo de junta. De acuerdo con la norma ASME sección VIII el nivel de radiografiado de la junta cuando el recipiente tiene líquidos contaminantes o que generen riesgo humano debe ser completo o por puntos, caso contrario no se requiere examinar.

En la mayoría de los casos en donde no se conoce el nivel de examinación, se recomienda usar un radiografiado por puntos ya que esta tiene una relación precio-espesor económica. El tipo de junta que se plantea usar en el tanque de maceración corresponde a una soldadura a simple por un solo lado del recipiente sin solera de respaldo sin examen de radiografiado. Por lo tanto, el valor de eficiencia de la junta corresponde a $E = 0.6$, valor que se encuentra en la sección de anexos.

3.2.1.1. Recipiente de maceración

Para el cálculo del recipiente de maceración se inicia con el cálculo del volumen de diseño.

➤ Volumen de diseño

El volumen de diseño del tanque se calcula a partir del volumen máximo de producción. Se debe agregar un factor de seguridad del 4% ya que en los tanques de maceración y cocción existen pérdidas de mosto producto de la agitación del líquido, por lo tanto:

$$V_{tm} = V_{max} * Fs$$

$$V_{tm} = 200 \text{ L} * 1.2 * 1.04$$

$$V_{tm} = 249,6 \text{ L} \cong 250 \text{ L}$$

$$V_{tm} = 0,25 \text{ m}^3$$

➤ Altura del recipiente

La altura del recipiente se calcula a partir de una relación entre el volumen del cilindro y el radio interior del mismo el cual es seleccionado de acuerdo a la disponibilidad de espacio, en este caso se considera un $r = 0.3 \text{ m}$, por lo tanto:

$$h_{tm} = \frac{V_{tm}}{\pi * r_{tm}^2}$$

Ecuación 3-2

Donde:

V_{tm} . – Volumen de diseño del tanque [m^3]

r_{tm} . – Radio del tanque de maceración [m]

Reemplazando valores se tiene:

$$h_{tm} = \frac{0.3}{\pi * 0.25^2}$$

$$h_{tm} = 0,884 \text{ m} \cong 0,9 \text{ m}$$

➤ Presión de diseño

La presión de diseño presente en el tanque de maceración corresponde a la suma de la presión interior y la presión hidrostática del fluido. A continuación, se muestra las propiedades del fluido:

Tabla 3-7: Propiedades físicas de la cerveza

Fluido:	Cerveza @68°C
Densidad (kg/m^3):	1105,00000
Viscosidad dinámica (Pa.s):	0,00153
Viscosidad cinemática (m^2/s):	$1,385 \times 10^{-6}$

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Por lo tanto, la presión de diseño corresponde a:

$$P_d = P_i + \rho * g * h_{tm}$$

Ecuación 3-3

Donde:

P_i . – Presión interior de diseño [N/m^2]

ρ . – Densidad del fluido [kg/m^3]

g . – Gravedad [m/s^2]

h_{tm} . – Altura del líquido [m]

Reemplazando datos se tiene:

$$P_d = 0 + 1105 * 9.81 * 0.9$$

$$P_d = 9756,045 \text{ Pa}$$

➤ Espesor del recipiente

El espesor del recipiente se calcula con la siguiente ecuación a partir de las variables que se ha encontrado anteriormente, por lo tanto:

$$e_{tm} = \frac{P_d * r}{S_y * E - 0.6 * P_d} + CA \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Donde

CA . – Corrosión admisible [mm], este valor es de $1mm$

Reemplazando valores se tiene:

$$e_{tm} = \frac{9756,045 * 0.3}{176,519 \times 10^6 * 0.6 - 0.6 * 9756,045} + 1$$
$$e_{tm} = 1,028 \text{ mm}$$

➤ Espesor de la tapa del recipiente

Para encontrar el espesor de la tapa del recipiente se hace uso de la siguiente ecuación que corresponde al cálculo de una tapa plana:

$$e_{tapa} = d * \sqrt{\frac{C * P_d}{S_y * E}} + CA \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

d . – Diámetro o tramo corto que se muestra en la Ilustración 3-6 [m]

C . – Constante adimensional que depende de la forma de unión, [$Adim$], 0.17

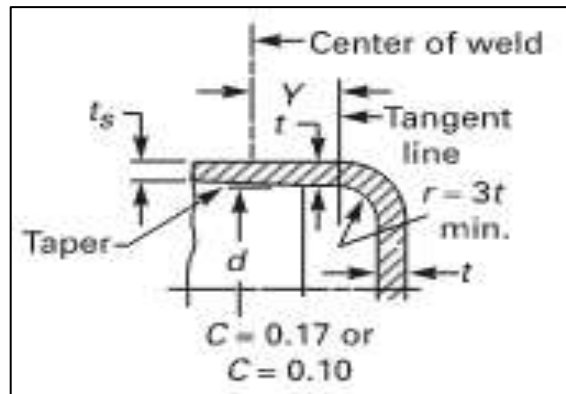


Ilustración 3-6: Configuración de la tapa plana

Fuente: (ASME VIII. División 1, 2013, p. 34)

Reemplazando valores se tiene:

$$e_{tapa} = 0.6 * \sqrt{\frac{0.1 * 9756,045}{176,519 \times 10^6 * 0,6}} + 1$$

$$e_{tapa} = 1,396 \text{ mm}$$

3.2.1.2. Recipiente de cocción

La metodología para encontrar el espesor del cilindro y de la tapa es la misma que se empleó en el recipiente de maceración. El fluido de trabajo es el mosto a 95°C en donde la densidad cambia a 1100 kg/m³, debido a esto los espesores tendrán una leve variación, a continuación, se muestra una tabla de resumen del cálculo:

Tabla 3-8: Cálculo de espesores

	Formula	Desarrollo	Valor	Unidad
Volumen máximo:	$V_{max}:$	-	0,2	m^3
Volumen de diseño:	$V_d:$	-	0,25	m^3
Radio del tanque de cocción:	$r_{tc}:$	-	0,3	m
Altura del tanque de cocción:	$h_{tc} = \frac{V_d}{\pi * r_{tc}^2}:$	$h_{tc} = \frac{0,25}{\pi * 0,3^2}:$	0,9	m
Presión del tanque:	$P_{tc} = P_d + \rho * g * h_{tc}:$	$P_{tc} = 0 + 1100 * 9,81 * 0,9:$	9711,9	Pa
Espesor del cilindro:	$e_{tc} = \frac{P_{tc} * r_{tc}}{S_y * E - 0.6 * P_{tc}} + CA:$	$e_{tc} = \frac{9711.9 * 0,3}{176,519 \times 10^6 * 0,6 - 0.6 * 9711.9} + 1:$	1,028	mm
Espesor de la tapa:	$e_{tapa} = d * \sqrt{\frac{C * P_{tc}}{S_y * E}} + CA:$	$e_{tapa} = 0,1 * \sqrt{\frac{0,17 * 9711.9}{176,519 \times 10^6 * 0,6}} + 1:$	1,395	mm

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.2.1.3. Recipiente de climatización de agua

Del mismo modo que los casos anteriores se plantea usar la misma metodología de diseño para el cálculo de espesores, pero en este caso el fluido que predomina es el agua lo que conlleva a algunos cambios, además el volumen del tanque se va a diseñar para un volumen de 250 litros de agua. Se inicia con el cálculo del volumen de diseño.

➤ Volumen de diseño

El volumen de diseño del recipiente se calcula a partir del volumen máximo de producción.

$$V_t = V_{max} * Fs$$

$$V_{ta} = 250 \text{ L} * 1.2$$

$$V_{ta} = 300 \text{ L}$$

Por lo tanto, el volumen con el que se va a diseñar el recipiente es:

$$V_{ta} = 0.3 \text{ m}^3$$

➤ Altura del recipiente

Como se mencionó anteriormente, la altura se calcula a partir del radio cuyo valor depende del espacio de trabajo, en este caso se trabaja con un $r = 0.25 \text{ m}$, por lo tanto:

$$h_{ta} = \frac{V_{ta}}{\pi * r_{ta}^2}$$

$$h_{ta} = \frac{0.3}{\pi * 0.25^2}$$

$$h_{ta} = 1.06 \text{ m} \cong 1.1 \text{ m}$$

➤ Presión de diseño

Para el cálculo de la presión de diseño hace falta saber las propiedades del fluido que para este recipiente se va a trabajar con agua, las mismas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3-9: Propiedades físicas del agua

Fluido:	Agua @75°C
Densidad (kg/m ³):	974,680000
Viscosidad dinámica (Pa.s):	0,000378

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Por lo tanto, la presión de diseño corresponde a:

$$P_d = P_i + \rho * g * h_{ta}$$

$$P_d = 0 + 974,68 * 9,81 * 1,1$$

$$P_d = 10517,772 \text{ Pa}$$

➤ Espesor del recipiente

El espesor del recipiente se calcula a partir de las variables que se ha encontrado anteriormente, por lo tanto:

$$e_{ta} = \frac{P_d * r}{S_y * E - 0.6 * P_d} + CA$$

$$e_{ta} = \frac{10517,772 * 0.3}{176,519 \times 10^6 * 0.6 - 0.6 * 8281.798} + 1$$

$$e_{ta} = 1,03 \text{ mm}$$

➤ Espesor de la tapa del recipiente

Reemplazando valores en la Ecuación 3-5, se tiene:

$$e_{tapa} = 0.1 * \sqrt{\frac{0.17 * 10517,772}{176,519 \times 10^6 * 0,6}} + 1$$

$$e_{tapa} = 1,411 \text{ mm}$$

A continuación, se muestra una de resumen con los espesores de cilindro y tapa para los distintos recipientes:

Tabla 3-10: Resumen de espesores

Recipiente	Espesor del cilindro	Espesor de la tapa	Unidad
Maceración	1,028	1,396	mm
Cocción	1,028	1,395	mm
Climatización del agua	1,030	1,411	mm

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la Tabla 3-10 se observa los distintos espesores de cilindro y tapa de los recipientes, como los espesores tienen un valor aproximado se plantea usar una plancha de 1,5 mm para la construcción de los 3 recipientes.

3.2.2. Sistema estructural

En sistema estructural se compone de los soportes o patas que están debajo de los recipientes de cocción, maceración y climatización. Para encontrar la sección adecuada que soporte el peso del fluido en el recipiente de análisis se hace uso de las ecuaciones de la normativa AISC para el diseño de elementos sometidos a efectos de pandeo.

En una primera instancia se dimensiona la estructura del recipiente de climatización de agua para esto se debe conocer el peso y la altura de los soportes. A continuación, se muestra una tabla con las alturas, los pesos individuales de los elementos y del peso total del sistema de los tres recipientes.

Tabla 3-11: Peso en los recipientes

Recipiente	Elemento	Volumen	Densidad	Masa	Peso	Peso Total	Altura de patas
		m3	kg/m3	kg	N	N	mm
Cocción	Cilindro y tapa	0,0030	8027,00	23,780	233,28	2931,03	360,00
	Mosto	0,2500	1100,00	275,000	2697,75		
Maceración	Cilindro y tapa	0,0030	8027,00	23,780	233,28	2943,29	650,00
	Mosto	0,2500	1105,00	276,250	2710,01		
Climatización	Cilindro y tapa	0,0029	8027,00	23,106	226,67	3095,16	370,00
	Agua	0,3000	974,68	292,404	2868,48		
Operario	-	-	-	-	-	735,75	-

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Como la estructura del recipiente de climatización de agua está conformado por tres columnas, como se muestra en la ilustración, el peso total se divide para un valor de 3 y así encontrar la carga individual en dicho elemento.



Ilustración 3-7: Recipiente de climatización
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En primera instancia se calcula la “Demanda” debido a la carga del agua y del peso del recipiente sobre la columna de análisis. La demanda o carga ultima se calcula a partir de la combinación de cargas, es este caso se trabaja con la combinación critica que se detalla en la siguiente ecuación:

$$C_u = 1.2 * D + 1.6 * L \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Donde:

D . – Carga muerta [N]

L . – Carga viva [N]

La carga muerta es la sumatoria de los pesos que intervienen en la estructura como el peso del agua y del recipiente, mientras que la carga viva es una carga ocasional debido al peso del operario en condiciones de mantenimiento o limpieza de la estructura. En este contexto se asume que dos operarios realizaran dichas operaciones por lo que al reemplazar datos de la Tabla 3-11 en la Ecuación 3-6 se tiene:

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 * (3095,16) + 1,6 * (1471,5) \\ P_u &= 6076,631 \text{ N} \end{aligned}$$

En una segunda etapa se tiene que calcular la “capacidad” o la carga que resiste el perfil. Para realizar dicho calculo se empleó la norma AISC 360 que dicta caracterizar el perfil y así hallar la sección correspondiente para el diseño, en este contexto se trabaja con el caso número 9 de la tabla B4.1^a de la presente normativa.

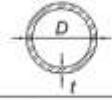
TABLE B4.1a Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements Members Subject to Axial Compression				
Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_r (nonslender/slender)	Examples
9	Round HSS	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	
$\lambda_c = 4\sqrt{h/T_w}$, but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.				

Ilustración 3-8: Caso 9 de la tabla B4.1^a de la normativa AISC 360 – 10
Fuente: (AISC, 2010, p. 16)

Previo a caracterizar el perfil se debe proponer una sección a analizar, en este caso se va a analizar una tubería de acero inoxidable de 2 in con las siguientes propiedades geométricas:

(D) Diámetro	Espesor	Peso	Área	I	W	I
Pulgadas	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64

Ilustración 3-9: Propiedades geométricas de la sección de 2"
Fuente: (DIPAC, 2024)

Las propiedades mecánicas del material se encuentran detalladas en la Tabla 3-6 donde E corresponde al módulo de elasticidad y F_y corresponde al límite de fluencia. A continuación, se muestra los resultados de las relaciones diámetro – espesor mostradas en la Ilustración 3-8, cabe mencionar si la relación de λ es menor a λ_r , se define el perfil como “Compacto” por lo que la norma dicta trabajar con la sección “E3”, caso contrario la norma dicta trabajar con la sección “E7”.

Tabla 3-12: Caracterización del perfil

Relación diámetro – espesor:	$\lambda = D/t$	$\lambda = 50,2/1,5 = 33,4$
Límite de la relación diámetro – espesor:	$\lambda_r = 0,11 * E/F_y$	$\lambda_r = 0,11 * (193000/176,519) = 120,27$
Tipo de perfil:	Compacto	

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Como se mencionó anteriormente, si el perfil es compacto se trabaja con la sección E7 de la presente normativa. Esta sección define los siguientes pasos para encontrar la capacidad del perfil. En primera instancia se calcula la esbeltez de la columna teniendo en cuenta que la altura (L_c) de la misma corresponde a 370 mm, el factor de longitud efectiva (k) es de 0,65 y el radio de giro (r) se encuentra tabulado en la Ilustración 3-9. La esbeltez se calcula con la siguiente formula:

$$Ez = k * L_c / r \quad \text{Ecuación 3-7}$$

Al remplazar valores se tiene:

$$Ez = 0,65 * 37 / 1,757$$

$$Ez = 13,688$$

En un siguiente paso se debe calcular la fuerza de Euler con la siguiente ecuación:

$$F_e = \pi^2 * E / Ez^2 \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Dando como resultado:

$$F_e = \pi^2 * 196 \times 10^9 / 13,688^2$$

$$F_e = 10,166 \text{ GPa}$$

Después se calcula la fuerza critica siguiendo las siguientes consideraciones:

a) Cuando $Ez \leq 4,71 * \sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = F_y * (0,658^{F_y/F_e})$$

b) Cuando $Ez > 4,71 * \sqrt{E/F_y}$

$$F_{cr} = 0,877 * F_e$$

En la siguiente tabla se muestra el resultado de la fuerza critica:

Tabla 3-13: Fuerza critica

	Constante	Fuerza critica
Unidad:	S/U	MPa
Formula:	$4,71 * \sqrt{E/F_y}$	$F_{cr} = F_y * (0,658^{F_y/F_e})$
Valor:	155,71	175,241

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Finalmente, para encontrar el valor de la resistencia nominal se hace uso de la siguiente ecuación:

$$P_n = F_{cr} * A_s \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Donde:

A_s . – Área de la sección transversal [m^2]

Al reemplazar valores y corregirlo por el factor ϕ (0,9) a compresión se tiene:

$$P_n = 175,241 \times 10^6 * 2,3 \times 10^{-4}$$

$$P_n = 40305,386 \text{ N}$$

$$\phi * P_n = 36274,84 \text{ N}$$

Como la demanda (P_u) es mucho menor que la capacidad ($\phi * P_n$) se establece que el perfil resiste la carga a la que está sometida y no fallara.

3.2.3. Sistema de agitación

Como se mencionó en la sección 3.1.2 y de acuerdo con el análisis técnico y económico se establece utilizar un agitador tipo paletas de dos niveles para el sistema de maceración y de un nivel para el sistema de Whirlpool, cabe mencionar que esta selección se debe ya que este tipo de agitadores trabajan en un rango de 50 y 150 rpm con fluidos cuya viscosidad es menor a 10 Pa.s. El agitador debe trabajar dentro de un rango de velocidades entre 90 y 130 rpm por lo tanto se plantea trabajar con la velocidad más crítica, es decir la velocidad angular de 130 rpm.

3.2.3.1. Sistema de agitación de maceración

En una primera instancia es importante determinar las proporciones geométricas de las aspas del sistema de agitación.

➤ Configuración geométrica

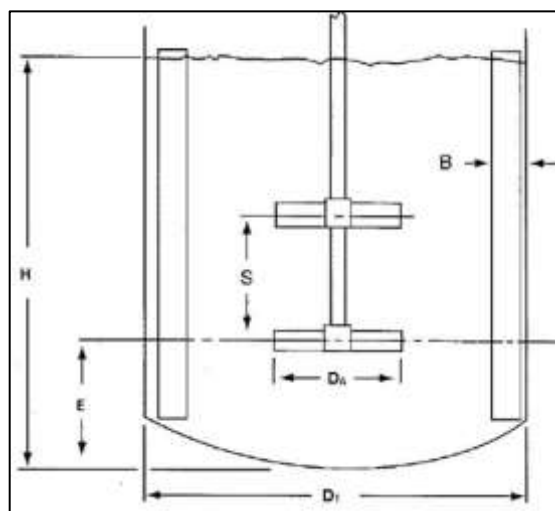


Ilustración 3-10: Configuración geométrica de las aspas
Fuente: (Ricaurte, 2016, p. 36)

En la siguiente tabla se muestra las relaciones geométricas de un agitador de palas estándar, cabe recalcar que estas dimensiones pueden variar de acuerdo a la aplicación del agitador, a continuación, se muestran estas relaciones que en su mayoría están en función del diámetro del tanque de maceración que se estableció en el ítem anterior.

Tabla 3-14: Relaciones geométricas

$D_a/D_t = 1/3$	$B/D_t = 1/12$	$E/D_a = 1$
$W/D_a = 1/5$	$S/D_a = 1$	

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Donde:

D_t . – Diámetro de tanque [m]

D_a . – Diámetro del agitador [m]

B . – ancho de la placa deflectora [m]

E . – Distancia del fondo del tanque hasta el centro de la primera pala [m]

S . – Separación entre agitadores [m]

W . – Ancho de las aspas [m]

Al reemplazar el diámetro del tanque de maceración en las ecuaciones anteriores, se encuentra la siguiente configuración para las aspas del agitador.

Tabla 3-15: Dimensiones de las aspas del agitador

Variable	Desarrollo	Valor Teórico	Valor de diseño	Unidad
D_a :	$1/3 * D_t = 1/3 * (0,6)$:	0,200	0,2	m
E :	D_a :	0,200	0,2	m
W :	$1/5 * D_a = 1/5 * (0,15)$:	0,04	0,04	m
S :	D_a :	0,200	0,2	m

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

➤ Potencia del agitador

La potencia que requiere el agitador es un parámetro útil para la selección del motor, el diseño del eje y la selección de elementos como rodamientos y cuñas. Es así que se procede a calcular el número de Reynolds de acuerdo con las propiedades de la cerveza de la Tabla 3-7 y el parámetro N debe estar en rps (revoluciones por segundo) con la siguiente expresión:

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 * N * \rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$N_{Re} = \frac{(0,2)^2 * (2,167) * (1105)}{0,00153}$$

$$N_{Re} = 62602,222$$

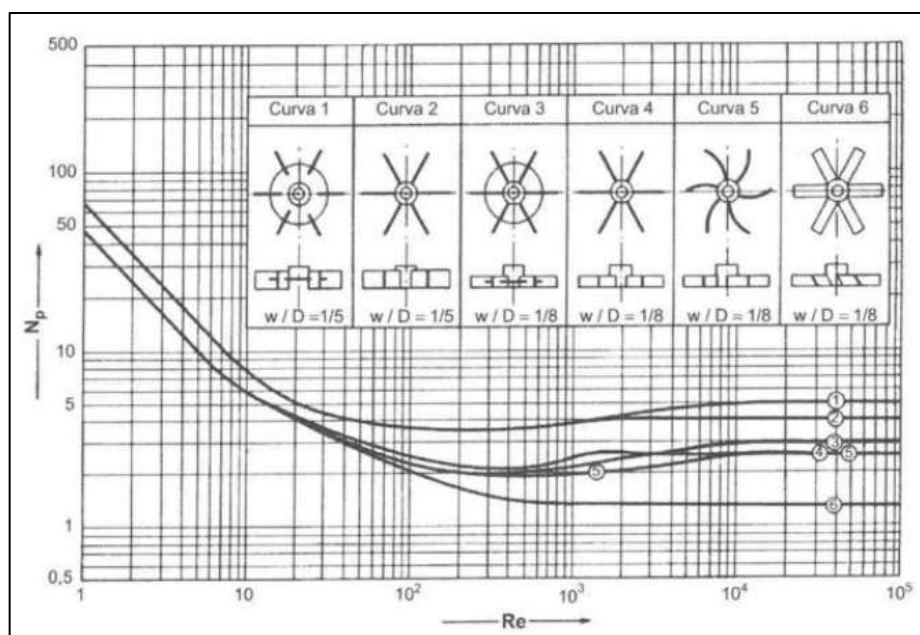


Ilustración 3-11: Relación del Número de Reynolds vs Número de Potencia

Fuente: (Sinnott & Towler, 2012, p. 653)

En la ilustración anterior se encuentra el número de potencia a partir del número de Reynolds y del tipo de agitador dando como resultado un valor de 4.2, con este dato se procede a encontrar la potencia requerida por el agitador con la siguiente ecuación:

$$P = N_p * D_a^5 * N^3 * \rho \quad \text{Ecuación 3-11}$$

Donde:

N_p . – Numero de potencia [*Adim*]

Reemplazando valores se tiene:

$$P = (4,2) * (0,2)^5 * (1,167)^3 * (1105)$$

$$P = 15,113 \text{ Watts}$$

$$P = 0,02 \text{ Hp}$$

➤ Diseño del eje del agitador

Para encontrar el diámetro del eje solido del agitador se plantea usar la ecuación de la norma ASME B106.1M, esta norma está basada en datos experimentales por lo que es un método de diseño adecuado, la ecuación es la siguiente:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Se sabe que el eje se encuentra bajo esfuerzos de torsión y no esta sometidos a cargas transversales que generen esfuerzos de flexión, por lo que la ecuación se puede reducir a:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Donde:

n . – Factor de seguridad del eje [*Adim*]

K_{fs} . – Factor de concentración de esfuerzos a cortante

T_a . – Torque amplitud [*N.m*]

T_m . – Torque medio [*N.m*]

S_e . – Resistencia a la fatiga [*N/m²*]

S_y . – Esfuerzo de fluencia del acero inoxidable [N/m^2]

En un inicio se calcula el torque sobre el eje del agitador que se encuentra a partir del torque y de la velocidad angular con la siguiente ecuación:

$$T = P/\omega \quad \text{Ecuación 3-14}$$

Donde:

P . – Potencia [$Watts$]

ω . – Velocidad angular [rad/s]

Reemplazando datos se tiene:

$$T = 15.113/13.611$$

$$T = 1,11 \text{ N.m}$$

En este punto se calcula el límite de fatiga a torsión con la siguiente ecuación, el coeficiente de Marín toma un valor de 0,6.

$$S_e = 0,29 * k_m * S_{ut} \quad \text{Ecuación 3-15}$$

Donde:

k_m . – Coeficiente de Marín [$Adim$]

S_{ut} . – Esfuerzo ultimo [MPa]

Reemplazando valores se tiene:

$$S_e = 0,29 * 0,6 * 480,525$$

$$S_e = 83,611 \text{ MPa}$$

Se propone usar un valor de factor de concentración de esfuerzos a corte igual a 1.4 y un factor de seguridad alto de 10 para asegurar el funcionamiento y evitar vibraciones excesivas, como el eje no está sometido a cambios de potencia el componente del torque amplitud se hace cero y solo existe el componente del torque medio que es igual al valor de torque calculado, al reemplazar los valores en la Ecuación 3-13 se tiene:

$$d = \left\{ \frac{16 * 10}{\pi} \left[3 \left(\frac{1.4 * 0}{83,611 \times 10^6} \right)^2 + 3 \left(\frac{1.4 * 1.11}{176.519 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$
$$d = 9,192 \text{ mm}$$

Se selecciona un eje cuyo diámetro tiene un valor de $\frac{3}{4}$ in o 19,04 mm, esta selección se basa a la disponibilidad del eje en el mercado.

➤ Espesor del aspa

El cálculo para encontrar el espesor del aspa se comienza con la definición geométrica de la misma cuyos resultados se encuentran en la Tabla 3-15. En un inicio se encuentra la fuerza de arrastre con la siguiente expresión que toma en cuenta la fuerza que ejerce el fluido sobre el aspa.

$$F_D = 0.5 * C_D * \rho * V^2 * A$$

Donde:

C_D . – Coeficiente de arrastre [*Adim.*]

V . – Velocidad lineal del aspa [m/s^2]

A . – Área del aspa [m^2]

Debido a que el impulsor gira a una velocidad angular constante y como la fuerza que el fluido ejerce dentro del tanque se distribuye en todos sus puntos se propone integrar a la siguiente ecuación en función del radio, por ende, la ecuación de la fuerza en función del radio se replantea de la siguiente forma:

$$F_D = 0.5 * C_D * \rho * (N * r)^2 * (r * W)$$

Donde:

N . – Velocidad angular del agitador [rad/s]

r . – Radio del agitador [m]

Al multiplicar a la anterior expresión por el diferencial del radio y al integrar entre los límites r_1 y r_2 se logra obtener el valor de momento máximo respecto al “Punto o”, en la Ilustración 3-12 se puede observar los límites de integración, así como el punto de referencia “O”.

$$\int_{r_1}^{r_2} F_D * dr = \int_{r_1}^{r_2} 0.5 * C_D * \rho * N^2 * W * r^3 dr$$

Resolviendo la integral se obtiene la siguiente expresión:

$$Mo' = 0.5 * C_D * \rho * N^2 * W * \left(\frac{r_2^4}{4} - \frac{r_1^4}{4} \right) \quad \text{Ecuación 3-16}$$

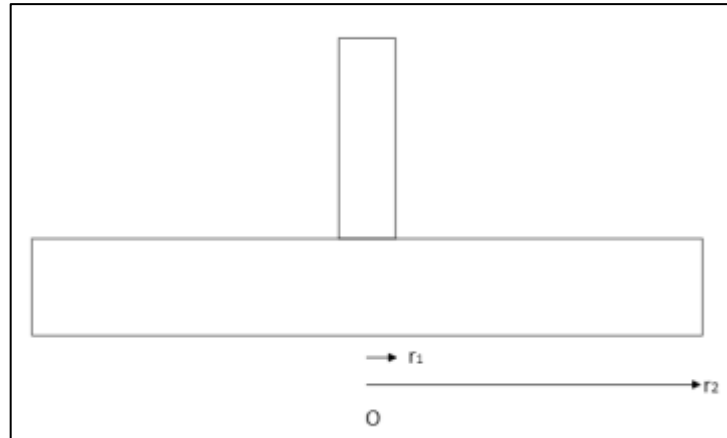


Ilustración 3-12: Limites de integración del agitador
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

El valor del coeficiente de arrastre se encuentra a partir de la relación entre la base y altura del aspa y se hace uso de la siguiente ilustración:

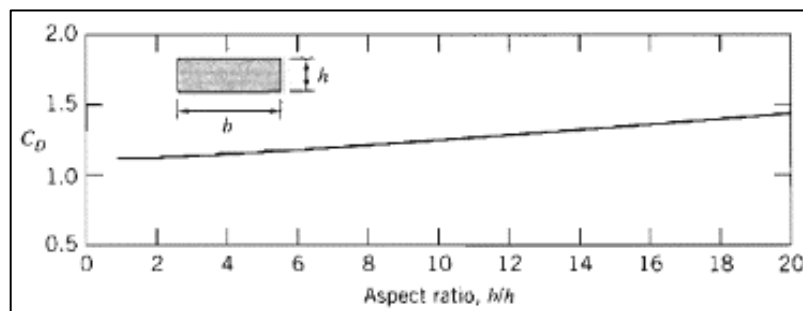


Ilustración 3-13: Coeficiente de arrastre
Fuente: (Fox et al., 2004, p. 438)

En la siguiente tabla se define la relación de la base sobre altura, donde la base es el valor del radio del agitador y la altura corresponde al ancho de las aspas, cuyos valores se encuentran en la Tabla 3-15. También se muestra el valor del coeficiente de arrastre cuyo dato se obtiene de la Ilustración 3-13.

Tabla 3-16: Coeficiente de arrastre

Relación:	$b/h = 0,075/0,019:$	3,95
Coeficiente de arrastre:	$C_D:$	1,15

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Una vez que se ha establecido el valor del coeficiente de arrastre, la velocidad angular de trabajo, los radios de análisis y las propiedades físicas de la cerveza, estos valores son reemplazados en la Ecuación 3-16 para encontrar el momento máximo que se produce en las aspas, quedando como resultado la siguiente expresión:

$$Mo' = 0.5 * (1,15) * (1105) * (13,616)^2 * (0,04) * \left(\frac{0.1^4}{4} - \frac{0.009^4}{4} \right)$$

$$Mo' = 0,118 \text{ N.m}$$

Finalmente, para encontrar el espesor del aspa, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$e_{aspa} = \sqrt{\frac{6 * n * Mo'}{S_y * W}} + CA \quad \text{Ecuación 3-17}$$

Donde

n. – Factor de seguridad [*Adim*]

S_y . – Esfuerzo de fluencia del acero inoxidable [N/m^2]

Para el cálculo del espesor del aspa se plantea trabajar con un factor de seguridad de 10. Al reemplazar valores se tiene:

$$e_{aspa} = \sqrt{\frac{6 * (10) * (0,118)}{(176.519 \times 10^6) * (0,04)}} + 1$$

$$e_{aspa} = 2,0004 \text{ mm}$$

Por facilidad de construcción y de trabajo el espesor del aspa del agitador será de 3mm.

➤ Selección del rodamiento

Sobre el rodamiento solo existen cargas axiales debido al momento torsor en el eje y no trabaja a fatiga, las cargas radiales tienden a cero debido a que no existen cargas en este sentido. En una primera instancia se selecciona un rodamiento de acuerdo al diámetro del eje, por este motivo se selecciona el rodamiento de la marca SKF de acero inoxidable 6204.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P ₀	Velocidad de referencia	Velocidad límite	kg	
mm			mm	mm	kN	r.p.m.			
20	32	7	4.03	2.32	0.004	45 000	28 000	0.018	61804
	37	8	6.37	3.65	0.016	43 000	26 000	0.037	61904
	42	8	7.28	4.05	0.033	38 000	24 000	0.05	* 62004
	42	12	9.95	5	0.212	38 000	24 000	0.067	* 6004
	47	14	13.5	6.55	0.28	32 000	20 000	0.11	* 6204
47	54	15.6	15.6	7.65	0.325	32 000	20 000	0.158	6204 ETN9
52	58	16.8	16.8	7.8	0.375	30 000	19 000	0.14	* 6204
52	58	18.2	18.2	9	0.38	30 000	19 000	0.14	6204 ETN9
72	78	20.7	20.7	15	0.64	24 000	15 000	0.41	6404

Ilustración 3-14: Selección del rodamiento

Fuente: (SKF, 2015, p. 324)

En la siguiente tabla se muestra las características del rodamiento seleccionado:

Tabla 3-17: Características del rodamiento 6204

Tipo		Valor	Unidad
Diámetro interior:	d:	20	mm
Diámetro externo:	D:	47	mm
Carga dinámica:	C:	13,5	kN
Carga estática:	Co:	6,55	kN
Factor de cálculo:	fo:	13	-

Fuente: (SKF, 2015, p. 325)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se debe encontrar la carga equivalente dinámica con la siguiente ecuación:

$$P = X * Fr + Y * Fa \quad \text{Ecuación 3-18}$$

Donde:

Fr. – Carga radial [kN]

Fa. – Carga axial [kN]

X. – Factor de cálculo para la carga radial [adim]

Y. – Factor de cálculo para la carga axial [adim]

Como se mencionó en un inicio la carga radial no existe por lo que la Ecuación 3-18 se reduce a:

$$P = Y * Fa \quad \text{Ecuación 3-19}$$

El factor “Y” se encuentra con la siguiente ilustración:

$f_0 F_a/C_0$	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3
0,345	0,22	0,56	1,99
0,689	0,26	0,56	1,71
1,03	0,28	0,56	1,55
1,38	0,3	0,56	1,45
2,07	0,34	0,56	1,31
3,45	0,38	0,56	1,15
5,17	0,42	0,56	1,04
6,89	0,44	0,56	1

Ilustración 3-15: Factor Y

Fuente: (SKF, 2015, p. 315)

Para encontrar el factor Y se debe interpolar el factor $f_o \cdot F_a / C_o$ en la ilustración anterior dando como resultado el valor en la siguiente tabla:

Tabla 3-18: Constante y factor Y

	Formula	Desarrollo	Valor	Unidad
Constante:	$f_o \cdot F_a / C_o$	$13 * 2,71 / 6,55$	5,37	-
Factor Y:	-	-	1,035	-

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Al reemplazar valores en la Ecuación 3-19 se tiene:

$$P = 1,035 * 2,71$$

$$P = 2,80 \text{ kN}$$

Como el valor P es menor a la carga dinámica tabulada se asume que la selección es correcta. A continuación, se calcula el número de hora de vida del rodamiento con la siguiente ecuación:

$$L_{10} = \frac{16650}{n} * \left(\frac{F_a}{P} \right)^3 \quad \text{Ecuación 3-20}$$

Donde:

n . – Velocidad angular [rpm]

Al reemplazar valores se tiene:

$$L_{10} = \frac{16650}{130} * \left(\frac{13,5}{2,8} \right)^3$$

$$L_{10} = 14354,83 \text{ horas}$$

Para propósitos de mantenimiento se establece realizar un cambio de rodamiento a las 1400 horas.

➤ Selección del motor y reductor

Para seleccionar el motor que se requiere para realizar el movimiento rotatorio del agitador, en una primera instancia se debe encontrar la potencia de diseño a partir de la potencia calculada con la Ecuación 3-11 y de la eficiencia de sus elementos (η). Por lo tanto, la potencia de diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_d = \frac{P}{\eta} \quad \text{Ecuación 3-21}$$

Los elementos que intervienen en el sistema son el rodamiento de bolas y un reductor de velocidad, cuya eficiencia es 0,99 y 0,83 respectivamente (Erazo & Vizuite, 2011, p. 76). Por lo tanto, reemplazando valores se tiene:

$$P_d = \frac{0,2}{0,99 * 0,83}$$

$$P_d = 0,24 \text{ HP}$$

A continuación, se muestra una tabla con las distintas alternativas de motores eléctricos que existe en el mercado nacional, para seleccionar el motor se debe tener en cuenta que la potencia del motor sea cercana o mayor a la potencia de diseño.

Tabla 3-19: Motores eléctricos

Motor eléctrico YN100	Motor eléctrico GENERAL ELECTRIC
	
Potencia: ¼ Hp Velocidad: 1350 rpm Torque: 44 N.m Voltaje: 110/220V	Potencia: ¼ Hp Velocidad: 1800 rpm Torque: 100 N.m Voltaje: 110/220V

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En el mercado existen un sinnúmero de variedad de motores eléctricos de distinta potencia, par, velocidad angular y voltaje de alimentación. Para el presente proyecto se seleccionó el motor eléctrico YN100 que se acerca a las características deseadas.

Una vez que se selecciona el motor y sabiendo que este genera una velocidad angular de 1350 rpm, se requiere seleccionar un reductor cuya salida sea una velocidad de 80 rpm, es decir que tenga una relación de 16:1. A continuación se muestra el reductor que se ha escogido con las siguientes características.

Tabla 3-20: Reductor Kraftmann

	
Modelo:	NVR030
Velocidad de entrada:	1400 rpm
Velocidad de salida:	80 rpm
Tipo:	Tornillo sinfín
Eficiencia:	80 %

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.2.3.2. Sistema de agitación del Whirlpool

El agitador para la fase del Whirlpool es el mismo que el agitador de maceración debido a que el fluido de trabajo y la velocidad angular es la misma con la diferencia que este se activa manualmente, es decir que un operario gira el agitador.

3.2.4. Sistema de calefacción

En la actualidad existen diferentes fuentes de calor para generar energía térmica para calentar los distintos fluidos dentro de la planta de generación de cerveza se puede mencionar a los siguientes quemadores, resistencias eléctricas o chaquetas.

De acuerdo con la matriz morfológica, la fuente para generar calor se hace a partir de un quemador industrial el cual funciona con gas licuado o GLP, se usa este sistema ya que su adquisición es de fácil acceso. El quemador se usará para calentar el fluido en los 3 recipientes.

En una primera instancia se realiza el análisis térmico del sistema, al tratarse de un sistema cerrado se tiene que el calor entregado por el quemador es igual al calor absorbido por el fluido que se ve reflejado por la siguiente ecuación, en este caso se analiza el fluido de la olla de cocción ya que este recipiente requiere más energía térmica que los otros 2 recipientes.

$$Q_{gen} = Q_{abs} \quad \text{Ecuación 3-22}$$

Donde:

Q_{gen} . – Calor entregado por el quemador [KJ/h]

Q_{abs} . – Calor absorbido por el mosto en el recipiente de cocción $[KJ/h]$

En la siguiente tabla se define las propiedades de cada uno de los elementos que intervine para el cálculo del calor en la olla de cocción.

Tabla 3-21: Propiedades físicas de los componentes

Unidad	Volumen m^3	Densidad Kg/m^3	Masa Kg	Calor específico $KJ/Kg. ^\circ K$
Mosto	0,2	1105,00	221,000	3,730
Acero Inoxidable AISI 304 – Cilindro	3.102×10^{-3}	8027,00	24,903	0,477
Acero Inoxidable AISI 304 – Tapa	4.241×10^{-4}	8027,00	3,404	0,477

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

➤ Cálculo de la energía necesaria para calentar el mosto

La energía que se necesita para calentar el mosto desde una temperatura de $20^\circ C$ a $99^\circ C$ se halla con la primera ley de la termodinámica que se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 3-23}$$

Donde:

m . – Masa de análisis $[kg]$

C_p . – Calor específico del material $[kJ/kg. ^\circ K]$

ΔT . – Variación de temperatura $[^\circ K]$

La Ecuación 3-23 se puede expresar de la siguiente manera:

$$\Sigma E = (m * C_p * \Delta T)_{mosto} + (m * C_p * \Delta T)_{cilindro} + (m * C_p * \Delta T)_{tapa}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\Sigma E = (221 * 3.73 + 24.903 * 0.477 + 3.404 * 0.477) * (99 - 20)$$

$$\Sigma E = 62837.433 \text{ kJ}$$

$$\Sigma E = 17.455 \text{ kW.h}$$

➤ Cálculo de pérdidas por radiación

Para determinar el calor producto de las pérdidas por radiación en primera instancia se calcula el área de la sección transversal de la transferencia de calor a partir del radio del cilindro, la cual queda expresada con la siguiente ecuación:

$$A_s = 2 * \pi * r * h$$

Ecuación 3-24

Donde:

r . – Radio del cilindro [m]

h . – Altura del cilindro [m]

Para calcular el calor debido a la transferencia de calor por radiación se hace uso de la siguiente formula:

$$Q_{rad} = \varepsilon * A_s * \sigma * (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

Ecuación 3-25

Donde:

ε . – Emisividad del material [$Adim$]

A_s . – Área de transferencia de calor [m^2]

σ . – Constante de Stefan-Boltzmann [$5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot ^\circ K$]

T_s . – Temperatura del mosto final [$^\circ K$]

T_{∞} . – Temperatura ambiente [$^\circ K$]

El análisis se realiza en el recipiente de cocción en donde el área de la sección transversal se calcula sabiendo que el radio y la altura corresponde a 0.3 m y 1.1 m respectivamente, la emisividad del acero inoxidable corresponde a 0.17, la temperatura final del mosto es 90°C y la temperatura ambiente se considera de 15°C. Además, se sabe que el tiempo de cocción del mosto corresponde a 60 minutos aproximadamente.

En una primera instancia se calcula el área de transferencia de calor usando la Ecuación 3-24 y reemplazando datos se tiene:

$$A_s = 2 * \pi * (1.1) * (0.3)$$
$$A_s = 2.07 m^2$$

Posteriormente se calcula el calor por radiación con la Ecuación 3-25, reemplazando valores se tiene:

$$Q_{rad} = (0.17) * (2.07) * (5.67 \times 10^{-8}) * (363^4 - 288^4)$$

$$Q_{rad} = 209,172 \text{ W}$$

Para encontrar la energía debido a las pérdidas se multiplica el calor por radiación por el tiempo de cocción, lo que se muestra en la siguiente ecuación:

$$E_{perdida} = Q_{rad} * tiempo_{coccion} \quad \text{Ecuación 3-26}$$

Dando como resultado:

$$E_{perdida} = 209,172 * 3600$$

$$E_{perdida} = 753,018 \text{ kJ}$$

$$E_{perdida} = 0,209 \text{ kW} \cdot h$$

Por lo tanto, para encontrar la energía que requiere el sistema se hace la sumatoria de la energía por pérdidas y la energía que se requiere para calentar el mosto dando como resultado:

$$E_{total} = 17,664 \text{ kW} \cdot h$$

Se sabe que el sistema de cocción va a trabajar por 1 hora por lo tanto la energía que se requiere es de 17.664 kW o 14617 kCal/h, en este contexto se selecciona el quemador EQA 103R modelo R24 que genera 15000 kCal/h.

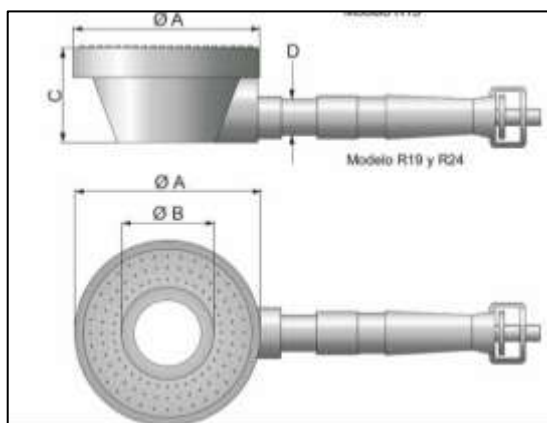


Ilustración 3-16: Quemador EQA 103R – R24
Fuente: (ErgioControles, n.d.)

A continuación, se muestra las características del quemador:

Tabla 3-22: Características del quemador R24

	Valor	Unidad
Modelo	R24	-
Dimensiones AxBxC:	235x90x83	mm
Rosca bsp:	1	in
Capacidad:	15000	kCal/h

Fuente: (ErgioControles, n.d.)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

3.2.5. Sistema hidráulico

Para el dimensionamiento de las tuberías y la selección de la bomba, en primera instancia se tiene que conocer el funcionamiento del sistema hidráulico. En la Ilustración 3-17, se observa el diagrama PID en donde se detalla el proceso y la instrumentación en la elaboración de la cerveza artesanal.

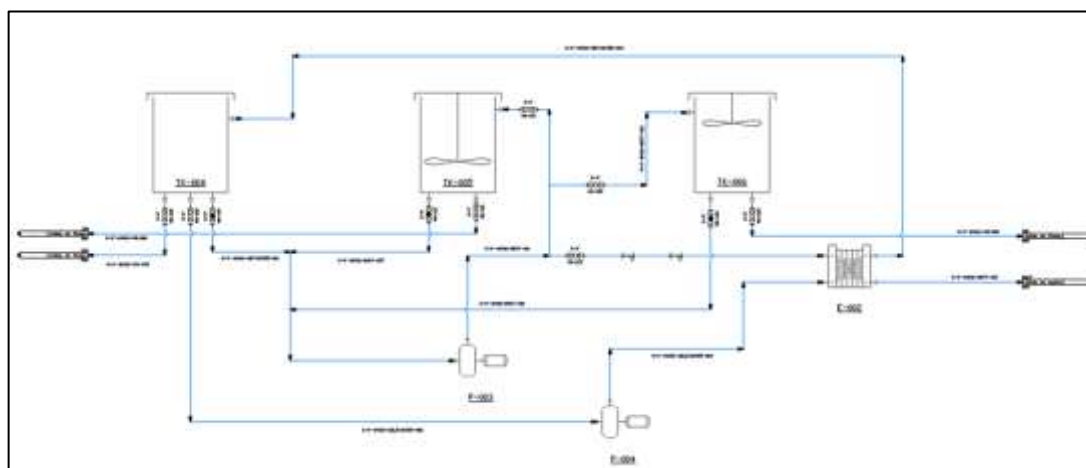


Ilustración 3-17: Diagrama PID de la instalación

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

➤ Sistema de bombeo N°1

En una primera instancia se realiza el dimensionamiento de las tuberías en el tramo más crítico, este corresponde al tramo que inicia desde el tanque de cocción hasta los tanques de fermentación por donde pasan distintos elementos como válvulas, filtros, accesorios y el intercambiador de calor de placas. A continuación, se muestra una ilustración en donde se observa los distintos componentes y configuración del sistema.

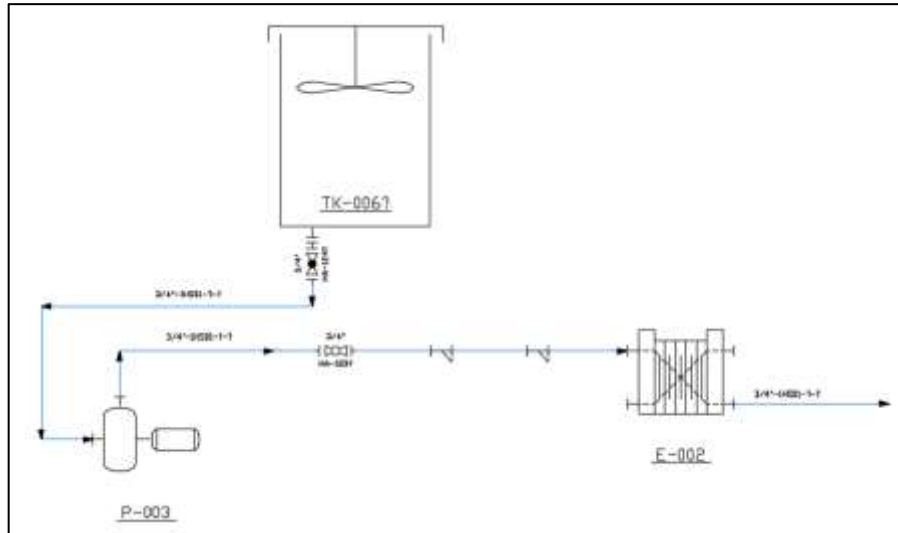


Ilustración 3-18: Diagrama del sistema de bombeo N°1
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Un parámetro de vital importancia a considerar es el tiempo de enfriado del mosto, se recomienda que el enfriamiento suceda lo más rápido posible es así que este tiempo debe ser de 5 minutos o menos para que los lúpulos agregados en la etapa de cocción no sigan actuando y así afecten a la calidad de la cerveza. Por este motivo se plantea que el sistema trabaje con un caudal de 60 litros por minuto ($0,001 \text{ m}^3/\text{s}$). Se considera trabajar con una velocidad de 3.5 m/s de acuerdo con las especificaciones de la Tabla 2-8.

En una primera instancia se calcula el diámetro teórico de la tubería con la Ecuación 2-12 y reemplazando datos se tiene:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 * (0,001)}{\pi * (3,5)}}$$

$$D_c = 19,07 \text{ mm}$$

El diámetro calculado se debe normalizar es así que se trabaja con un diámetro interior superior que esté disponible en el mercado, en este caso se va a trabajar con una tubería de acero inoxidable de ¾ “con un diámetro interior de 19,4 mm. A continuación, se debe verificar que la velocidad se encuentre dentro del rango de 0,5 y 4,5 m/s con la finalidad de evitar decantaciones y velocidades abruptas, para esta finalidad se despeja la velocidad de la Ecuación 2-12, reemplazando valores se tiene:

$$V = \frac{4 * 0,001}{\pi * 0,0194^2}$$

$$V = 3,38 \text{ m/s}$$

Como la velocidad se encuentra dentro del rango se asume que la selección del diámetro es la más idónea.

➤ Curva resistente del sistema

Para seleccionar la bomba hace conocer la curva resistente del sistema y la curva característica de distintas opciones de bombas. La curva resistente se encuentra a partir de la Ecuación 2-5, en donde los puntos de análisis son la lámina de mosto del tanque de cocción y la lámina de mosto en el tanque de fermentación cuyos puntos están sometidos a una presión atmosférica y la velocidad en dichos puntos es aproximadamente cero por lo que los términos de presión y velocidad se puede despreciar, otro dato a considerar es el desnivel geométrico entre laminas que es este caso es de aproximadamente 1 metro. Las perdidas por accesorios se calculan a partir de la longitud equivalente cuyo valor se va a adicionar a las perdidas por longitud de tubería. Simplificando términos se tiene:

$$H_B = (Z_2 - Z_1) + \frac{8 * f * (L_{tuberia} + L_{equivalente}) * Q^2}{\pi^2 * 9,81 * D^5} \quad \text{Ecuación 3-27}$$

En la siguiente tabla se encuentra detallada la longitud de tubería del tramo de análisis, así como las longitudes equivalentes de los accesorios presentes en el sistema.

Tabla 3-23: Longitudes equivalentes

	Cantidad [U]	Longitud equivalente [m]	Total	Unidad
Tramo A-B	-	-	5,00	m
Codo a 90	6,00	0,63	3,78	m
Valv. Globo	1,00	6,25	6,25	m
Valv. Bola	1,00	5,00	5,00	m
Unión	10,00	0,02	0,20	m
Te	2,00	3,00	6,00	m
IDC Placas	1,00	5,25	5,25	m
Total			31,48	m

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

El número de Reynolds se calcula a partir de la Ecuación 2-7 y con los datos de la Tabla 3-7, reemplazando datos se tiene:

$$Re = \frac{3,38 * 0,0194}{1,385 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 47344,40$$

Como el número de Reynolds es mayor a 4000 se establece que el fluido está en régimen turbulento por este motivo y para encontrar el valor del factor de fricción se hace uso de la

Ecuación 2-9, en donde el valor de la rugosidad del acero inoxidable corresponde a $0,4 \mu m$.
Reemplazando datos se tiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0,4 \times 10^{-6}}{3,7 * 0,0194} + \frac{5,74}{47344,40^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,0211$$

Una vez que se ha establecido el factor de fricción, la longitud total de tubería debido a la sumatoria de la longitud del tramo y las longitudes equivalentes y el diámetro de la tubería, estos valores se reemplazan en la Ecuación 3-27.

$$H_B = 1 + \frac{8 * 0,0211 * 31,48 * Q^2}{\pi^2 * 9,81 * 0,0194^5}$$

$$H_B = 1 + 19972377,38 * Q^2$$

Para seleccionar la bomba que vaya de acuerdo con las necesidades de la planta se tiene que buscar que el punto de funcionamiento se acerque al caudal requerido (60 LPM), mediante la intersección de la curva resistente y las curvas características de distintos equipos que se observa en la Ilustración 3-19, en este contexto se observa que la bomba CSPL 10 de 1 HP se acerca a las especificaciones. Por lo tanto, los valores de operación se establecen como:

$$Q_f = 58.2 \text{ LPM} \cong 60 \text{ LPM}$$

$$H_B = 26,42 \text{ mca}$$

El tiempo de enfriamiento se calcula a partir del caudal de funcionamiento y el volumen de producción que en este caso corresponde a 200 litros.

$$tiempo = \frac{Volumen}{Q_f}$$

$$tiempo = \frac{200}{58.2}$$

$$tiempo = 3.43 \text{ min}$$

Se establece que el tiempo de enfriamiento está dentro del límite de los 5 minutos por lo que el caudal de trabajo es óptimo para el propósito del enfriamiento del mosto.

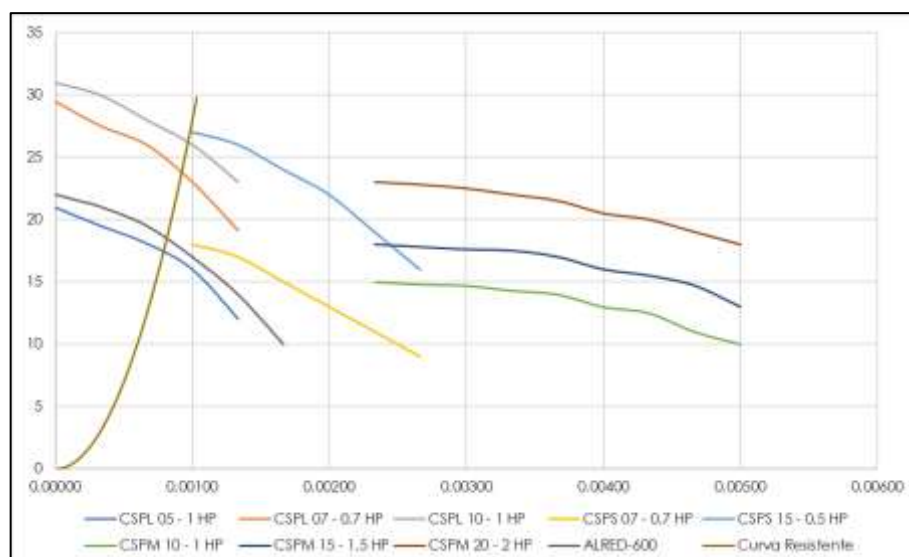


Ilustración 3-19: Curva resistente vs Curva característica
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se muestra la bomba CSPL 10 de 1 HP con sus respectivas características.



Ilustración 3-20: Bomba CSPL 10 – 1HP
Fuente: (PumpStopOnline, 2024)

Tabla 3-24: Datos técnicos de la bomba

Modelo:	CSPL 10
Potencia:	1 HP
Voltaje:	110 V
Boca:	1" x 1"
Flujo máximo:	80 l/min
Altura máxima:	31 m
Material:	AISI 304

Fuente: (PumpStopOnline, 2024)
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

➤ Sistema de bombeo N°2

El dimensionamiento del sistema de bombeo N°2 es el mismo que el sistema N°1, es decir que se va a trabajar con una tubería de $\frac{3}{4}$ in. Se plantea usar la bomba CSPL 10 de 1 HP del cálculo anterior y en este ítem se va a encontrar el caudal de funcionamiento a partir del caudal de 60LPM y de acuerdo con la nueva curva característica del sistema. En la siguiente ilustración se muestra la configuración de accesorios, ruta de tubería, etc.

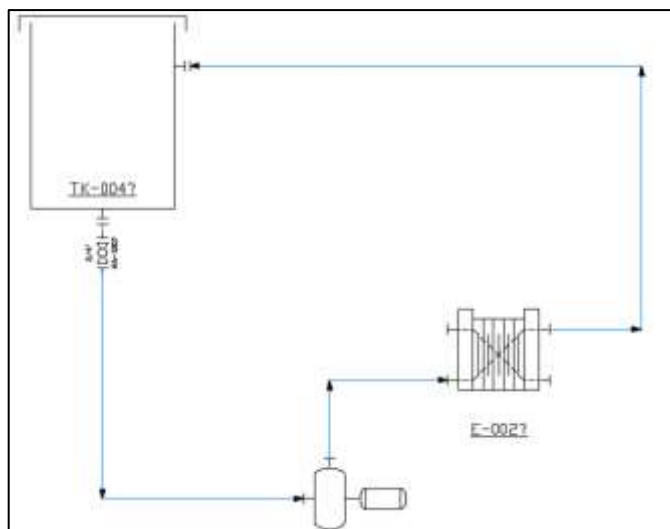


Ilustración 3-21: Diagrama del sistema de bombeo N°2

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

La metodología para encontrar la curva característica es la misma que el cálculo anterior, en la siguiente tabla se define la longitud total del sistema a partir de la longitud del tramo C-D y de las longitudes equivalentes.

Tabla 3-25: Longitud total del sistema de bombeo N°2

	Cantidad [U]	Longitud equivalente [m]	Total	Unidad
Tramo C-D	-	-	5,196	m
Codo a 90	7,00	0,63	4,41	m
Valv. Globo	1,00	6,25	6,25	m
Unión	4,00	0,02	0,08	m
Te	1,00	3,00	3,00	m
IDC Placas	1,00	5,25	5,25	m
Total			24,19	m

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Al ser un sistema cerrado el valor del desnivel geométrico, presiones y velocidades se hace cero por lo que la ecuación de la curva característica se resume de la siguiente manera:

$$H_B = \frac{8 * f * (L_{tuberia} + L_{equivalente}) * Q^2}{\pi^2 * 9,81 * D^5}$$

Ecuación 3-28

En este caso el fluido de trabajo es agua de refrigeración a una temperatura de 5°C aproximadamente, en la siguiente tabla se muestra las propiedades del agua a esta temperatura.

Tabla 3-26: Propiedades del agua

Fluido:	Agua @5°C
Densidad (kg/m³):	1000,00000
Viscosidad dinámica (Pa.s):	0,00152
Viscosidad cinemática (m²/s):	1,52 x10 ⁻⁶

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se calcula el número de Reynolds con la Ecuación 2-7, reemplazando valores se tiene:

$$Re = \frac{3,38 * 0,0194}{1,52x10^{-6}}$$

$$Re = 43139,47$$

Consecuentemente se calcula el factor de fricción con la Ecuación 2-9, sabiendo que el fluido trabaja en el régimen turbulento, reemplazando valores se tiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0,4x10^{-6}}{3,7 * 0,0194} + \frac{5,74}{43139,47^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,02154$$

Finalmente se encuentra la curva resistente del sistema al remplazar los valores en la Ecuación 3-28 se tiene:

$$H_B = \frac{8 * 0,02154 * 24,19 * Q^2}{\pi^2 * 9,81 * 0,0194^5}$$

$$H_B = 15672269,772 * Q^2$$

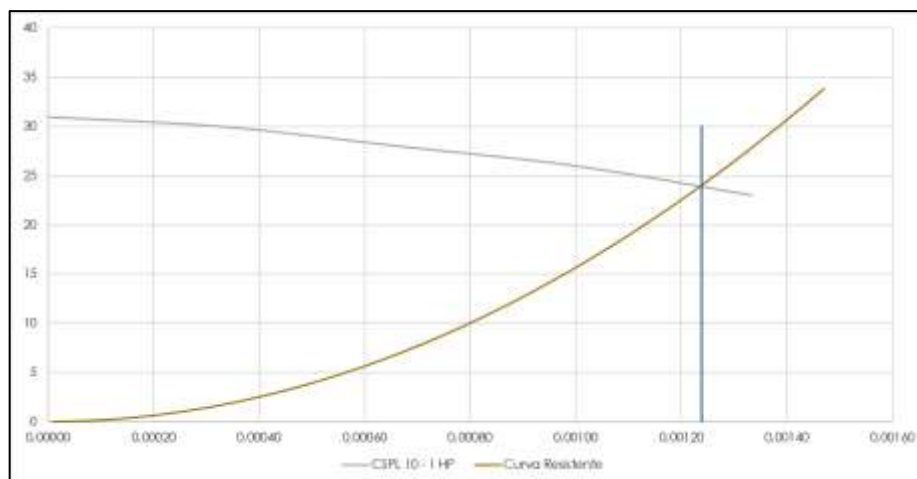


Ilustración 3-22: Curva característica y resistente del sistema de bombeo N°2
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Al intersecar las curvas se obtiene que el caudal de funcionamiento corresponde a:

$$Q_f = 73.34 \text{ LPM} \cong 75 \text{ LPM}$$

$$H_B = 24,059 \text{ mca}$$

3.2.6. Sistema de refrigeración

Para disminuir la temperatura del mosto de 100°C que es la temperatura de cocción a 18°C que es la temperatura para el proceso de fermentación se hace uso de un intercambiador de calor por placas. En este caso el fluido para refrigerar es el agua a 5°C. A continuación, se muestra una tabla con las propiedades de los dos fluidos.

Tabla 3-27: Propiedades de los fluidos

	Mosto	Agua	Unidad
Densidad (ρ):	1105	1000	kg/m^3
Caudal (Q):	58,2	73,34	l/min
Flujo masico ($\dot{m}$):	1,072	1,22	kg/s
Calor especifico (C_p):	3,730	4,202	$kJ/m^3 \cdot s$
Temperatura de entrada (T_e):	100	5	$^{\circ}C$
Temperatura de salida (T_s):	18	-	$^{\circ}C$

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En una primera instancia se calcula el calor transferido entre el agua fría y el mosto a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{m}_m * C_{p_m} * (T_{e_m} - T_{s_m}) \quad \text{Ecuación 3-29}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$Q = 1,072 * 3,73 * (100 - 18)$$

$$Q = 327,88 \text{ kJ/s}$$

A continuación, se calcula la temperatura a la salida del agua fría, para esto se despeja la temperatura de la Ecuación 3-29, quedando de la siguiente manera:

$$Ts_a = \frac{Q}{m_a * Cp_a} + Te_a \quad \text{Ecuación 3-30}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$Ts_a = \frac{327,88}{1,22 * 4,202} + 5$$

$$Ts_a = 68,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Una vez que se calcula la temperatura a la salida del fluido refrigerante, se tiene las 4 temperaturas para calcular la temperatura media logarítmica haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln (\Delta T1/\Delta T2)} \quad \text{Ecuación 3-31}$$

Donde:

$\Delta T1$. – Variación de temperatura 1, $\Delta T1 = Te_h - Ts_c \text{ [} ^\circ\text{C]}$

$\Delta T2$. – Variación de temperatura 2, $\Delta T2 = Ts_h - Te_c \text{ [} ^\circ\text{C]}$

Te_h . – Temperatura a la entrada del fluido caliente $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Ts_c . – Temperatura a la salida del fluido frío $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Ts_h . – Temperatura a la salida del fluido caliente $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Te_c . – Temperatura a la entrada del fluido frío $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Reemplazando valores se tiene:

$$\Delta T1 = 100 - 68,95 = 31,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T2 = 18 - 5 = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{31,05 - 13}{\ln (31,05/13)} = 20,73 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La selección del intercambiador de placas se hace a partir de la potencia o el calor transferido del mosto hacia el agua, en este contexto se selecciona el equipo BL50D-20 con las siguientes características.

Tabla 3-28: Características del intercambiador de placas BL50D-20

		
	Valor	Unidad
Modelo:	BL50D-20	
Caudal masico:	3585	Lb/h
Intercambio de calor:	36	kBTU/h
Área de transferencia de calor:	9,9	ft ²
Coefficiente de intercambio de calor en condiciones limpias:	502.2	BTU/ft ² .h. °F
Coefficiente de intercambio de calor en servicio:	413,5	BTU/ft ² .h. °F
Numero de placas:	20	u
Numero de placas efectivas:	18	u
Material / Espesor de placa:	AISI316/0,40mm	-

Fuente: (Friorecord-S.A., 2024)

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Para encontrar el número de placas que requiere el intercambiador y así modificarlo de ser necesario, se tiene que encontrar el área de las placas con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T_{ml}} \quad \text{Ecuación 3-32}$$

Donde:

Q . – Potencia [W]

U . – Coeficiente global de transferencia de calor [W/m². °C]

Al reemplazar valores se tiene:

$$A = \frac{327880}{2347,9619 * 20,73}$$

$$A = 7,7363 \text{ m}^2$$

Para encontrar el número de placas se divide el área total que se requiere para el área individual de la placa que se detalla en la Tabla 3-28, dando como resultado:

$$N_{placas} = A/A_i$$

$$N_{placas} = 7,7363/0,9197$$

$$N_{placas} = 7,32 \cong 8 \text{ placas}$$

Como resultado se tiene que el intercambiador de placas requiere de 8 placas funcionales por lo que se debe modificar el intercambiador para que la temperatura de salida del mosto sea la deseada.

3.3. Selección de la instrumentación

De acuerdo con la matriz morfológica se plantea usar un indicador local de temperatura para los 3 recipientes, en este contexto se selecciona el indicador de temperatura bimetálico de acero inoxidable, modelo XO695 de uso industrial con un rango de temperaturas de 0°C a 100°C.



Ilustración 3-23: Termómetro Vertical Bimetálico

Fuente: (MercadoLibre, 2024)

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Simulación de la estructura

Al considerar los distintos componentes que intervienen en la planta cervecera, se analiza los elementos más críticos en este caso el recipiente de maceración de agua montado en la estructura totalmente lleno y considerando la carga viva a la que está sometida. Para realizar el análisis de la estructura y del recipiente se hace uso del software INVENTOR NASTRAN con el cual se puede encontrar las deformaciones, el esfuerzo de von misis y el factor de seguridad.

4.1.1. Asignación de cargas, restricciones y mallado.

En primera instancia se debe tener el modelo 3D que se pretende simular. Una vez que se tiene el modelo se debe asignar el material con el que se va a trabajar, en este caso se va a trabajar con un acero inoxidable 304 para el recipiente y para la estructura. Consecuentemente se asigna las cargas de presión hidrostática en las paredes y en el fondo del recipiente, una presión de carga viva en el fondo del recipiente, por lo que estas cargas son todas las que están presentes en el sistema real.

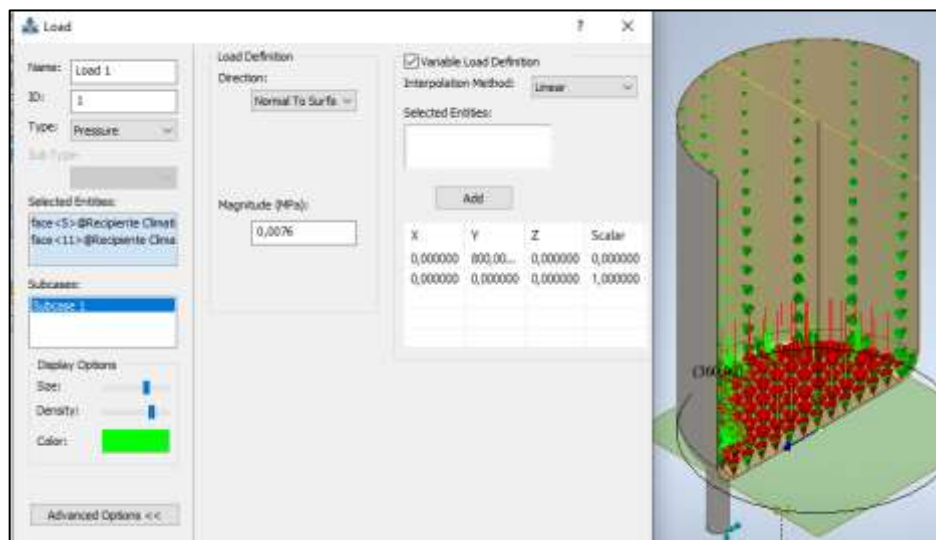


Ilustración 4-1: Asignación de cargas

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Una vez que se define las cargas, se procede a asignar las restricciones, en este caso se definen 3 restricciones en la parte inferior de las patas, consecuentemente se define el tamaño de malla adecuado para el análisis.

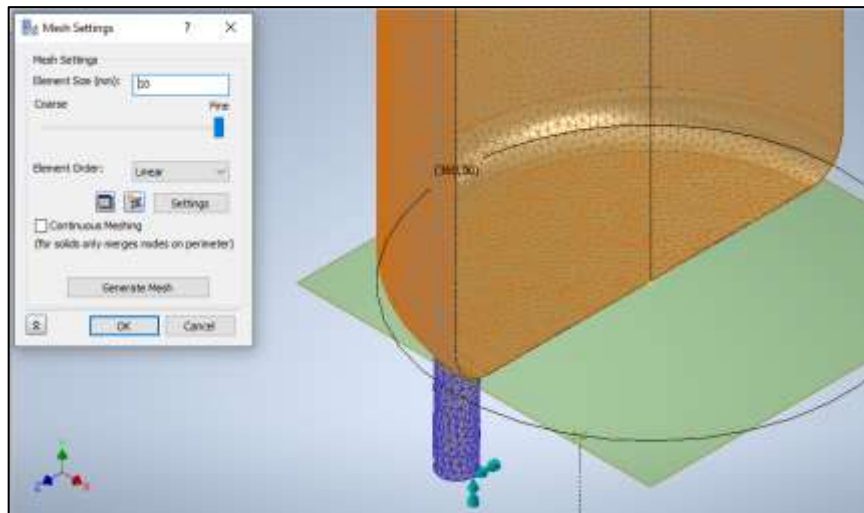


Ilustración 4-2: Mallado del sistema
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.1.2. Esfuerzos

A continuación, se muestra el análisis de los rangos de esfuerzo presente en la estructura y el recipiente y siendo el valor de 63,95 MPa el valor máximo presente en el sistema, al ser este valor menor al límite de fluencia del acero inoxidable (176 MPa) se comprueba que la selección de la sección al igual que su espesor es la adecuada.

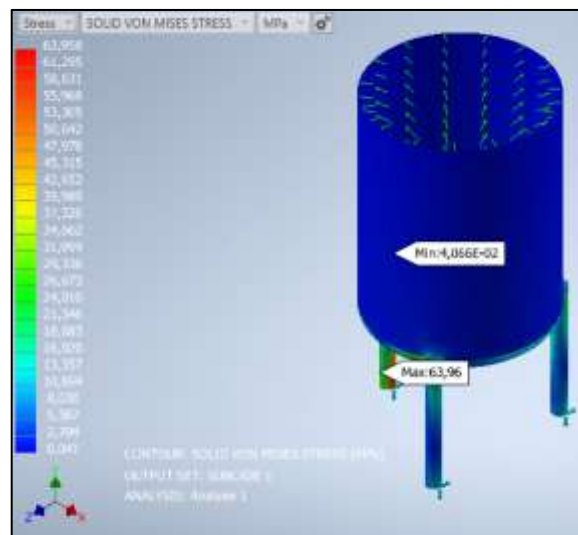


Ilustración 4-3: Esfuerzo de Von-Misses
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.1.3. Deformación

La deformación en los soportes de la estructura debe ser menor a la deformación permisibles ($L_o/300$), en donde L_o corresponde a la longitud de la columna de los soportes, de acuerdo a esta

relación la deformación máxima corresponde a 2,66 mm. A analizar las deformaciones de la Ilustración 4-4 se define que la deformación máxima corresponde a 0,887 mm, esta deformación al ser menor a la deformación permisible valida el diseño por desplazamientos.

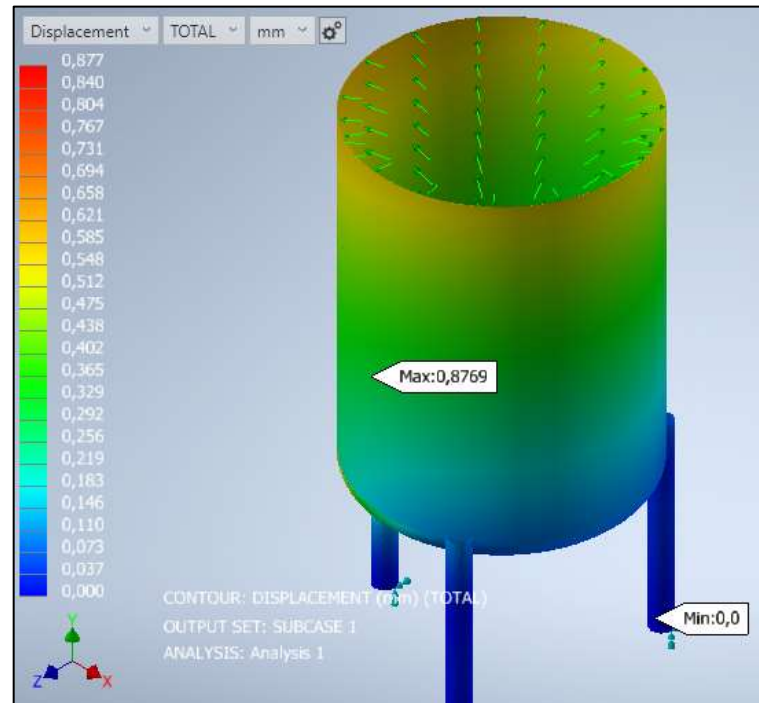


Ilustración 4-4: Deformaciones
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.1.4. Factor de seguridad

A continuación, se muestra el valor del factor de seguridad siendo el valor mínimo de este en la estructura corresponde a 3.38. De acuerdo a la teoría, el factor de seguridad debe ser mayor a 1, en este contexto se considera el diseño como valido, además se valida la selección del espesor de la estructura y del recipiente.

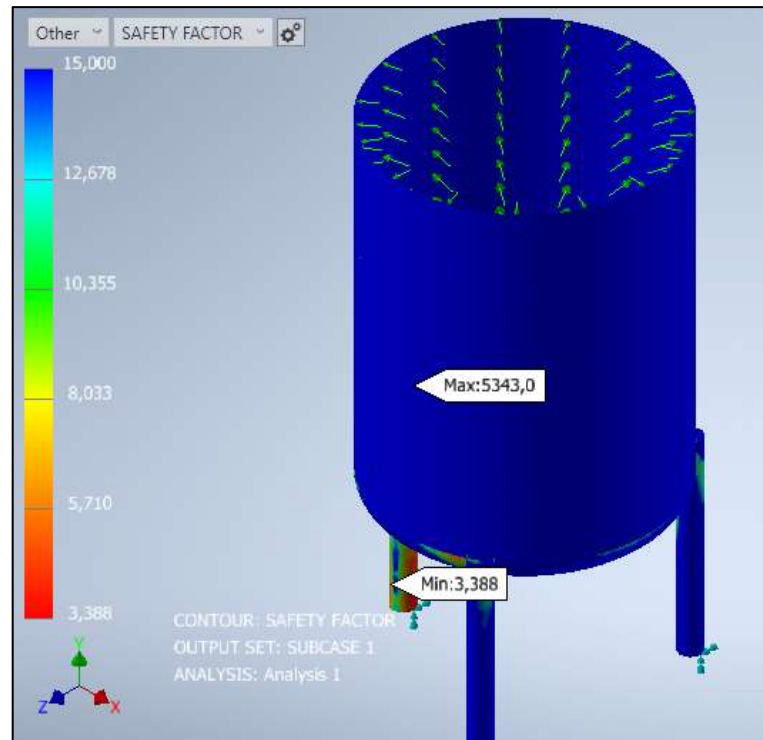


Ilustración 4-5: Factor de seguridad
Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2. Construcción de la planta cervecera

En primera instancia se define y se detalla la información de las distintas maquinas, herramientas y procesos de manufactura que intervinieron en la construcción de la planta de cerveza artesanal. En la presente tabla se detalla dichos elementos.

Tabla 4-1: Maquinas, herramientas y procesos

Maquinas	Herramientas	Procesos de manufactura
Taladro	Calibrador	Torno convencional
Amoladora	Flexómetro	Fresadora CNC
Soldadora TIG	Cepillo de acero	Cortadora laser
		Roladora

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1. Sistemas de construcción

En la siguiente tabla se distribuye los sistemas y los distintos componentes que intervienen en la construcción de la planta para la elaboración de cerveza artesanal.

Tabla 4-2: Sistemas presentes en la construcción de la planta de cerveza

Sistema	Elemento	Cantidad	Composición
Sistema estructural	Estructura base de los recipientes	3	Tubería circular de acero inoxidable
Recipientes a presión	Recipiente de cocción	1	Lamina de acero inoxidable
	Recipiente de climatización	1	Lamina de acero inoxidable
	Recipiente de maceración	1	Lamina de acero inoxidable
Sistema de agitación para la maceración	Agitador de maceración	1	Eje y lamina de acero inoxidable
Sistema de agitación para el Whirlpool	Agitador de Whirlpool	1	Eje y lamina de acero inoxidable
Sistema hidráulico	Tuberías	6	Tubería y accesorios de acero inoxidable
Sistema de enfriamiento del mosto	Intercambiador de calor de placas	1	Modificación

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1.1. Construcción del sistema estructural

A continuación, se muestra los tiempos empleados en las distintas operaciones para la construcción de las estructuras de soporte de los recipientes.

Tabla 4-3: Operación y tiempos empleados en el sistema estructural

			
Elemento	N°	Operación	Tiempo (min)
Estructura de las patas de recipiente Nota: El proceso es el mismo para los 3 recipientes	1	Toma de medidas requeridas	30
	2	Cortes del perfil según planos	120
	3	Escuadrado	30
	4	Corrección de medidas	15
	5	Unión de piezas (Soldadura TIG)	120
	6	Ubicación de agujeros	45
	7	Perforación de agujeros	30
	8	Pulido	120
	9	Colocación de los tanques	90
	10	Correcciones	30

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1.2. Construcción de los recipientes

En la siguiente tabla se detalla las operaciones y los tiempos de acuerdo a cada operación en la construcción de los recipientes de climatización del agua, cocción y maceración del mosto los cuales estarán montados sobre los distintos sistemas estructurales.

Tabla 4-4: Operación y tiempos empleados en la construcción de los recipientes

			
Elemento	N°	Operación	Tiempo (min)
Recipientes Nota: El proceso es el mismo para los 3 recipientes a excepción de la operación 13 a 17 que es únicamente para la olla de maceración	1	Medición de las dimensiones requeridas	60
	2	Diseño del cuerpo cilíndrico con aberturas, tapa y fondo en formato dxf	120
	3	Corte a laser del recipiente cilíndrico, fondo y tapa	15
	4	Pulido de asperezas del corte	30
	5	Soldadura de juntas longitudinales del cilindro	240
	6	Moldeado de la tapa	240
	7	Moldeado del fondo	240
	8	Ensamblaje de la tapa, fondo y recipiente	60
	9	Verificación de medidas	15
	10	Soldadura TIG del fondo y el recipiente	60
	11	Corte de boquillas	120
	12	Soldadura de boquillas al cuerpo y tapa	120
	13	Corte de la abertura "manhole"	120
	14	Corte de la boquilla del manhole	120
	15	Corte de la tapa del manhole	120
	16	Ensamblaje del manhole	60
	17	Soldadura TIG del manhole	300
	18	Inspección no destructiva	60
	19	Medición de los soportes del recipiente	30
	20	Corte de los soportes	120
	21	Pulido de asperezas del corte de los soportes	60
	22	Ensamblaje del recipiente con los soportes	120
	23	Verificación de medidas	60
	24	Cortes de los protectores	240
	25	Unión de los protectores con el recipiente	120
	26	Acabado y pulido	120

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1.3. Construcción del sistema hidráulico

En la siguiente tabla se muestra las actividades que se realizó al momento de construir y montar los distintos sistemas de tuberías.

Tabla 4-5: Operación y tiempos empleados en el sistema hidráulico

			
Elemento	N°	Operación	Tiempo (min)
Sistema de tuberías	1	Toma de medidas	60
	2	Corte de tuberías	120
	3	Roscado en tuberías	120
	4	Inspección de medidas	30
	5	Ensamblaje con elementos seleccionados	120
	6	Verificación de fugas	60

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1.4. Construcción del sistema de agitación para la fase de maceración

En la siguiente tabla se muestra los procesos que intervinieron durante la construcción del agitador para la fase de maceración.

Tabla 4-6: Operación y tiempos empleados en el sistema de agitación (maceración)

Elemento	N°	Operación	Tiempo (min)
Sistema de agitación	1	Toma de medidas	60
	2	Diseño de las aspas en formato Dxf	120
	3	Corte a laser de las aspas	120
	4	Corte del eje	30
	5	Maquinado y corrección del eje	100
	6	Soldadura de las aspas y el eje	120
	7	Montaje de elementos seleccionados	30
	8	Acople con el motorreductor	60

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1.5. Construcción del sistema de agitación para la fase del Whirlpool

A continuación, se muestra una tabla de procesos que intervinieron durante la construcción del agitador para la fase del Whirlpool.

Tabla 4-7: Operación y tiempos empleados en el sistema de agitación (Whirlpool)

Elemento	N°	Operación	Tiempo (min)
Sistema de agitación	1	Toma de medidas	60
	2	Diseño de las aspas en formato Dxf	120
	3	Corte a laser de las aspas	120
	4	Corte del eje	30
	5	Maquinado y corrección del eje	120
	6	Montaje de elementos seleccionados	30
	7	Soldadura de las aspas y el eje	120

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.1.6. *Modificación del intercambiador de calor*

Finalmente se muestra el proceso para la modificación del intercambiador de calor en donde se retiraron las placas y se dejó trabajando con 8 placas funcionales que garantizan la temperatura óptima para la fase de fermentación.

Tabla 4-8: Operación y tiempos empleados en la modificación del intercambiador de calor

Elemento	N°	Operación	Tiempo (min)
Intercambiador de calor de placas	1	Modificación del intercambiador de placas	60
	2	Montaje del intercambiador de placas	120

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.2. *Montaje de los sistemas*

A continuación, se muestra la simbología del montaje de los sistemas que se mencionó anteriormente, además se muestra los componentes seleccionables como bombas, válvulas y filtros.

Tabla 4-9: Montaje de sistemas adicionales

Operación	Símbolo	Tiempo (min)
Ubicación de la estructura base	U1	60
Montaje de los recipientes	M1	240
Montaje de los agitadores	M2	240
Ubicación de bombas	U2	60
ubicación del intercambiador de calor	U3	60
Montaje de tuberías, válvulas y filtros	M3	300
Montaje de la instrumentación	M4	30

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la siguiente ilustración se muestra el diagrama con el orden en que se realizó la construcción y el ensamblaje de la planta de cerveza artesanal.

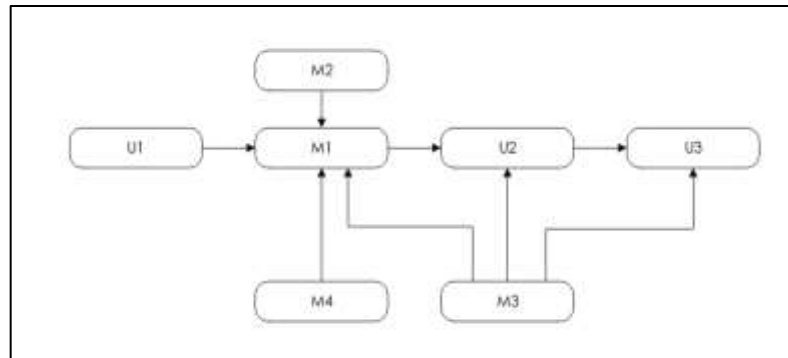


Ilustración 4-6: Montaje de los sistemas

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.2.3. *Tiempo total de construcción*

A continuación, se muestra el tiempo que se tardó en la construcción y montaje de elementos de la planta de cerveza artesanal.

Tabla 4-10: Tiempos totales

Proceso	Tiempo (min)	Tiempo (Días)
Construcción	5530	11,52
Montaje	1260	2,63
Total	6790	14,15

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.3. **Análisis de costos**

En el siguiente apartado se expone información detallada sobre los costos de los materiales y elementos utilizados, procesos de manufactura e instrumentación empleada para la construcción, desarrollo e implementación de una planta de cerveza artesanal. En la presente tabla, se muestra el costo de los implementos necesarios para la estructura.

Tabla 4-11: Costos del sistema estructural

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [USD]	Subtotal [USD]
1	Tubo circular de acero inoxidable de ¾ in	m	12	72	72,00
2	Pernos (m5x8 mm)	u	10	0,1	1,00
3	Pernos (m8x8 mm)	u	10	0,15	1,50
4	Pernos (m10x8 mm)	u	10	0,3	3,00
5	Electrodos (E308L-16)	lb	3	3,1	9,30
6	Disco de corte de acero	u	1	1,9	1,90
7	Disco de corte varios materiales	u	1	2,9	2,90
8	Disco de desbaste	u	2	1,25	2,50
9	Lija en papel	u	15	0,55	8,25
10	Lija de disco	u	1	1,5	1,50
11	Gafas de Protección personal	u	1	0,65	0,65
12	Guantes de cuero	u	1	4,65	4,65
13	Guantes de protección	u	1	1,85	1,85
14	Adhesivos	u	1	10	10,00
Total					121,00

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se observa una tabla que detalla los costos para la elaboración de los recipientes.

Tabla 4-12: Costos de los recipientes

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [USD]	Subtotal [USD]
1	Lamina de acero inoxidable AISI 304 (1220 x 2440 mm) de 1.5 mm de espesor	u	3	180	540,00
2	Tubería de acero inoxidable de 1 in para boquillas	u	1	27	27,00
3	tubería de acero inoxidable de 1.5 in para boquillas	u	1	28	28,00
4	tubería de acero inoxidable de 2 in para boquillas	u	1	30	30,00
5	Electrodos (E6013)	kg	1	2,85	2,85
6	Tubería de acero inoxidable de 3/4 in para boquillas	u	1	27	27,00
Total					654,85

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la siguiente tabla, se puede divisar los costos de los implementos para el sistema hidráulico de la planta.

Tabla 4-13: Costo del sistema hidráulico

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [USD]	Subtotal [USD]
1	Tubería de acero inoxidable de 3/4 in	u	3	27,00	81,00
2	Bomba centrífuga CSPL 10 - 1HP	u	2	170,00	340,00
3	Válvula de bola de acero inoxidable de 3/4 in	u	7	38,18	267,26
4	Válvula de globo de acero inoxidable de 3/4 in	u	3	42,49	127,47
5	Abrazaderas de acero inoxidable de 3/4 in	u	15	2,90	43,50
6	Codo a 90° de acero inoxidable de 3/4 in	u	17	11,60	197,20
7	Filtros para cerveza artesanal	u	2	37,50	75,00
8	Tee de acero inoxidable	u	5	25,43	127,15
9	Tubería de acero inoxidable de 3/4 in, soportes	u	2	27,00	54,00
Total					1312,58

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la siguiente tabla, se puede observar el costo de los materiales a utilizar para la confección del agitador de maceración y Whirlpool.

Tabla 4-14: Costos del sistema de agitación

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [USD]	Subtotal [USD]
1	Rodamiento de acero inoxidable 6204	u	2	45,70	91,40
2	Eje de acero inoxidable de 3/4 in	u	1	16,00	16,00
3	Motor eléctrico YN100	u	1	107,64	107,64
4	Lamina de acero inoxidable AISI 304 (1220 x 2440 mm) de 3 mm de espesor	u	1	220	220,00
5	Reductor NVR030	u	1	51,60	51,60
6	Pernos, tuercas y arandelas de 1/4 in	u	10	0,35	3,50
Total					490,14

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se detalla en una tabla el costo de los elementos a utilizar para la creación de un agitador del intercambiador de calor en la planta.

Tabla 4-15: Costo del intercambiador de calor de placas

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [USD]	Subtotal [USD]
1	Intercambiador de calor de placas BL50D-20	u	1	220,00	220,00
Total					220,00

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la siguiente tabla, se puede observar el detalle del costo de un quemador industrial que se va a utilizar en la planta.

Tabla 4-16: Costo del quemador industrial

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [USD]	Subtotal [USD]
1	Quemador industrial R24	u	3	74,00	222,00
Total					222,00

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se presenta una tabla con el detalle del costo de mano de obra que se requiere para la construcción de la planta.

Tabla 4-17: Costos de mano de obra

Ítem	Descripción	Horas-Hombre	Costo x hora [USD]	Subtotal [USD]
1	Técnico Torno	10,00	7,00	70,00
2	Técnico CNC	2,00	35,00	70,00
3	Operario Corte a Plasma	2,00	12,00	24,00
4	Operario CNC	3,00	7,00	21,00
5	Operario Corte a Laser	6,00	15,00	90,00
6	Ayudante	5,00	12,00	60,00
7	Soldador	8,00	12,00	96,00
Total				431,00

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la siguiente tabla, se puede observar el detalle de costos de los equipos y herramientas necesarias para la construcción y desarrollo de la planta.

Tabla 4-18: Costos de equipos

Ítem	Descripción	Horas-Hombre	Costo x hora [USD]	Subtotal [USD]
1	Torno	4,00	18,00	72,00
2	Soldadura MIC	2,00	20,00	40,00
3	Amoladora	2,00	4,50	9,00
4	Esmeril	1,00	4,50	4,50
5	Prensa	1,00	7,00	7,00
6	Taladro	1,00	4,50	4,50
Total				137,00

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

En la siguiente tabla se muestra los costos debidos al trasporte de materiales y equipos para el ensamblaje de la planta cervecera.

Tabla 4-19: Costos de transporte

Descripción	Subtotal [USD]
Movilización	45,00
Transporte de Materiales	45,00
Total	90,00

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se observan los costos directos que intervienen en la planta cervecera.

Tabla 4-20: Costos directos

Descripción	Subtotal [USD]
Costos de materiales de estructura	121,00
Costos de materiales de recipientes	654,85
Costos de materiales del sistema hidráulico	1312,58
Costos de materiales de los agitadores	490,14
Costos de materiales del intercambiador de calor	220,00
Costo de los quemadores	222,00
Costo de instrumentación	180,00
Costos de equipos y herramientas	137,00
Costos de mano de obra	431,00
Costos de transporte	90,00
Total	3858,57

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

A continuación, se muestra los costos indirectos, como el costo ingenieril, imprevistos que entran en juego durante la construcción de la planta cervecera.

Tabla 4-21: Costos indirectos

Descripción	Subtotal [USD]
Costo ingenieril	246,35
Imprevistos	570,58
Utilidades	172,4
Total	989,33

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

Finalmente, se tiene los costos totales realizando la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla 4-22: Costos totales

Descripción	Subtotal [USD]
Costos directos	3858,57
Costos indirectos	989,33
Total	4847,9

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

4.4. Pruebas mecánicas en la planta cervecera

A continuación, se muestra el resultado de pruebas ejecutadas en la planta cervecera con la finalidad de evitar fenómenos como vibraciones excesivas, fugas en las tuberías, ruido excesivo que afecte a la salud de operarios, fugas de gas, etc. Para evaluar los fenómenos anteriormente mencionados se los realiza una vez que el sistema está en funcionamiento, en la siguiente tabla se detalla de mejor manera los fenómenos expuestos en donde se analiza de acuerdo a cada componente y así se busca corregir el fenómeno para salvaguardar la vida útil de la planta.

Tabla 4-23: Resultado de pruebas

Elemento	Vibración	Ruido	Fuga	Sin Problemas	Observación
Recipiente de cocción				x	
Recipiente de maceración	x	x			Las vibraciones son producto del motorreductor que produce la agitación
Recipiente de climatización				x	
Bomba de cambio de recipiente	x	x			Las vibraciones son producto del juego de apertura y cierre de válvulas
Bomba de enfriamiento	x	x			Las vibraciones se observan al inicio del funcionamiento
Tuberías				x	
Intercambiador de calor	x				Las vibraciones son producto del paso del fluido
Quemadores	x			x	Las vibraciones son producto del paso del fluido
Soldadura				x	Se empleo un método no destructivo para verificar las juntas soldadas

Realizado por: Castillo B. & Toasa K., 2023

CONCLUSIONES

Al culminar el proyecto, se logró diseñar y construir los distintos sistemas que juegan parte fundamental dentro de la planta de elaboración de cerveza. Para el diseño de la planta se hizo uso de la metodología VDI 2221, la cual ayudo a encontrar una alternativa viable de acuerdo con un análisis técnico y económico basado en los requerimientos y deseos del cliente plasmados en la lista de exigencias.

finalmente, el diámetro utilizado para el diseño de los recipientes de cocci3n, maceraci3n y climatizaci3n fue de 0.6m, ya que este valor era adecuado para realizar los procesos de mecanizado y presentaba una mejor armonía con las alturas calculadas posteriormente.

Para la realizaci3n de los cálculos fue necesario la utilizaci3n de normativas para asegurar un correcto diseño y facilitar el cálculo de los mismo, entre las cuales se encuentran la ASME secci3n VIII divisi3n 1, ASME B106.1, AISC 360. De igual forma para los elementos que fueron seleccionados, se utilizaron catálogos locales para facilitar la adquisici3n de estos.

El modelado 3D resulto de gran ayuda al momento de dimensionar y ubicar todos los componentes de nuestro proyecto debido a que se contaba con un espacio ya establecido para la colocaci3n de los mismo, por lo cual se pudo ir variando las dimensiones de los recipientes hasta encontrar la configuraci3n optima.

Una vez concluido el modelo de la planta y la generaci3n planos se busc3 personal con experiencia para la fabricaci3n, brindándole toda la ayuda posible hasta la culminaci3n de la misma, realizando pruebas con agua fría y caliente para corregir cualquier tipo de fuga antes de la entrega del proyecto.

Finalmente, la planta fue puesta en funcionamiento con espacio para futuras actualizaciones, como la implementaci3n de electroválvulas para abrir y cerrar el paso de los fluidos en los sistemas hidráulicos, el encendido y apagado tanto del motor como de las bombas reduciendo así el trabajo humano.

RECOMENDACIONES

Es importante considerar los tiempos de climatización de agua, maceración, cocción y disminución de temperatura para los dos tipos de cerveza artesanal que la planta va a producir y así se puede garantizar una calidad de cerveza aceptable. Es importante mencionar la limpieza de la planta después de cada lote de producción.

Durante la construcción de los equipos, es importante realizar pruebas de fugas en los recipientes y tuberías una vez que el equipo ya este ensamblado. Un aspecto importante a considerar es la correcta asignación de válvulas en el sistema de tuberías ya que de esta ubicación depende que el líquido pueda pasar de un recipiente a otro sin que se dirija a un recipiente o sistema de manera no deseada.

El diseño de la planta se dirige solamente a las fases de climatización del agua, maceración y cocción del mosto con un volumen de producción de 200 litros y en donde se consideran algunas pérdidas. Por lo tanto, si se desea aumentar el volumen de producción se debe agregar más recipientes con la misma capacidad de diseño en donde se debe considerar el caudal para una nueva bomba, el calor de intercambio que necesita el intercambiador de calor para redefinir el número de placas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABB.** *Variador de frecuencia* [blog]. España: ABB, 2023. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
2. **AISC.** *Specification for Structural Steel Buildings* [en línea] 1ra ed. Estados Unidos: American Institute of Steel Construction, 2016 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf>
3. **ÁLVAREZ, Bryan.** Elaboración de cerveza artesanal tipo golden ale con cebada (*hordeum vulgare*) y arroz (*oryza sativa* L.). [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias. Guayaquil – Ecuador. 2020. págs. 31 – 32. [Consulta: 2024-01-01]. Disponible en: [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVAREZ%20QUINTO%20BRYAN%202_comp ressed%20\(1\).pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVAREZ%20QUINTO%20BRYAN%202_comp ressed%20(1).pdf)
4. **AMATSELECTRIC.** *Solución en Control para Flujo Continuo con VFD Mitsubishi Electric* [blog]. México: AMATS, 2015. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.amats.com.mx/soluciones/Solucion-para-Flujo-Continuo-con-Variador-de-Frecuencia.html>
5. **ARVIZA, Jaime & PALAU, Virginia.** “Determinación del punto de funcionamiento de la asociación de bombas en paralelo a velocidad fija y variable en sistemas de distribución a presión”. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica De Valencia. España. 2020. pág. 4. [Consulta: 24 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68365/Determinaci%C3%B3n%20punto%20de%20funcionamiento%20de%20una%20asocaci%C3%B3n%20de%20bombas%20en%20paralel o%20a%20velocidad%20fija%20y%20variable.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. **ASME VIII.** *División 1, reglas para la construcción de recipientes a presión* [en línea] 1ra ed. Estados Unidos: ASME, 2013 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.asme.org/getmedia/443f6b0a-4e45-4a12-8f83-3230fa92306a/35832.pdf>
7. **CALLEJA, Jaime.** Diseño de una planta de elaboración de cerveza artesanal para consumo directo, Microcervecerias. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad de Cádiz, Facultad de ciencias. Cádiz – España. 2013. págs. 106 – 108.

[Consulta: 29 Diciembre 2023]. Disponible en:
<https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/15570/b3636485x.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. **CALO, Jeremías.** Diseño y construcción de un tanque didáctico con agitador de doble camisa y serpentín para el laboratorio de transferencia de calor de la facultad de ingeniería mecánica. Tanque doble camisa [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería mecánica. Quito – Ecuador. 2022. págs. 23 – 24. [Consulta: 29 Diciembre del 2023]. Disponible en:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23136/1/CD%2012561.pdf>
9. **CASTILLO, Claudia & MARCILLO, Oscar.** Estudio de la influencia en la variación de velocidad de movimiento en régimen laminar y turbulento de un fluido newtoniano en un sistema de agitación. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad de Guayaquil, Facultad de ingeniería química. Guayaquil – Ecuador. 2018. págs. 34 – 35. [Consulta: 12 Diciembre 2023]. Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33318>
10. **CERVEZAARTESANA.** *Manual de los distintos tipos de lúpulo* [blog]. España: Slowbrew Solutions, 2003. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en:
<https://cervezartesana.es/blog/post/manual-de-los-distintos-tipos-de-lupulo-y-las-propiedades-de-cada-uno.html>
11. **CHUQUÍN, Nelson; et al.** *Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas , Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas* [en línea] 1ra ed. Ecuador: Cide Editorial, 2019 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en:
<http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2022-11-07-135357-LIBRO%20HIDRAULICA%20EN%20TUBERIAS%20Y%20ACCESORIOS.pdf>
12. **COINTRA.** *Quemador* [blog]. Bélgica: Cointra, 2018. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.cointra.es/blog-que-es-un-quemador-y-para-que-sirve/>
13. **CZECH BREWERYSYSTEM.** *Tanques de cerveza brillantes* [blog]. República Checa: Czech Brewery System, 2023 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en:
<https://www.czechminibreweries.com/es/production/brewery-components/cold-block/serving-bright-beer-tanks/>

- 14. DÍAZ, Sergio & VEGA, Germán.** Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Escuela de ingeniería electromecánica. Duitama – Bocaya. 2017, pág. 8. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/2720/TGT_1315.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 15. DIPAC.** *Tubo Estructural Redondo Galvanizado* [blog] Ecuador: Manta S.A., 2024. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-redondo-galvanizado/>
- 16. ENCICLOPEDIA DEL ECUADOR.** *Cervecería* [blog]. Ecuador: Enciclopedia del Ecuador, 2023 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.encyclopediadelecuador.com/cerveceria/>
- 17. ERAZO, Pablo & VIZUETE, Ricardo.** Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 litros. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería mecánica. Quito- Ecuador. 2011. págs. 18–76. [Consulta: 2024-01-01]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2754/1/CD-3418.pdf>
- 18. ERGIOCONTROLES.** *Quemador EQA 103R* [blog]. Argetina: Ergio Controles, 2023. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://ergiocontroles.com/producto/combustion/quemadores/atmosfericos/quemador-eqa-103r/>
- 19. FOX, Robert; et al.** *Introduccion to fluid mechanics*. [en línea] 6° ed. Estados Unidos: Ktdra, 2004 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://home.iitk.ac.in/~nikhilk/Book.pdf>
- 20. FRIORECORD- S. A.** *Intercambiador de Calor de Placa* [blog] Ecuador: Frío Record, 2024. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.friorecord.com/intercambiadordecalordeplaca>

21. **GISBERT, Mauro.** Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica de Valencia, Alcoy – España. 2016. págs. 10–17. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73275/Dise%C3%B1o%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20una%20planta%20elaboradora%20de%20cerveza.pdf?sequence>
22. **GONZÁLEZ, Marcos.** *Principios de elaboración de las cervezas artesanales* [en línea] 1ra. ed. Estados Unidos: Lulu Press Inc, 2017 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.vinodefruta.com/descargas/Libro%20Principios%20de%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20las%20Cervezas%20Artesanales%20-%20Cap%20Muestra.pdf>
23. **GONZÁLEZ, Luis.** Diseño de una máquina mezcladora y dosificadora de un proceso de producción de placas para revestimiento de pared, y construcción de un prototipo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de ciencias de la ingeniería e industrias. Quito-Ecuador. 2016. pág. 15. [Consulta: 2024-01-01]. Disponible en: <https://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/112/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&value=Gonz%C3%A1lez+Criollo%2C+Luis+Eduardo>
24. **GSL INDUSTRIAS.** *Manómetro* [blog] México: GSL Industrias, 2023. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://industriasgsl.com/blogs/herramientas/manometro>
25. **GUANÍN, Adrián.** Diseño de un prototipo de sistema de fermentación industrial para la empresa ‘Induacero CIA. LTDA’. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica. Ambato-Ecuador. 2023. págs. 5–25 [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37668/1/Tesis%20I.M.%20747%20-%20Guan%C3%adn%20Araque%20Adrian%20Israel.pdf>
26. **HACERCERVEZA ARTESANAL.** *Tipos de cerveza* [blog]. España: Hacer cerveza artesanal, 2023. [Consulta: 12 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://hacercervezaartesanal.com/tipos-de-cervezas/>

27. **HIDRÁULICA BALCON S. L.** *Indicadores de presión* [blog]. España: Hidráulica Balcón, 2013. [Consulta: 14 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.hidraulicabalcon.com/indicadores-presion-y-utilidades/>
28. **IMPORTACEROS.** *Acero inoxidable 430* [blog]. Ecuador: Import Aceros, 2022 [Consulta: 28 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/acero-inoxidable-430/>
29. **INMAGINE LAB.** *Panel de control eléctrico* [blog]. Estados Unidos: 123 RF, 2023. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: https://es.123rf.com/photo_97196194_el-panel-de-control-el%C3%A9ctrico-contiene-botones-de-interruptor-para-operar-m%C3%A1quinas-industriales-y.html
30. **INMAGINE LAB.** *Pequeña fábrica de cerveza* [blog]. Estados Unidos: 123 RF, 2023 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: https://es.123rf.com/photo_59983107_peque%C3%B1a-f%C3%A1brica-de-cerveza-la-producci%C3%B3n-de-cerveza-artesanal.html
31. **NTE INEN 2262.** *Bebidas alcohólicas. Cerveza. Requisitos* [en línea] 2003, (Ecuador), vol. 1(1), pág. 5 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://odaninkasiquito.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/08/inen-2-262-cerveza.pdf>
32. **LEÓN, Juan.** *Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión* [en línea] 1ra ed. España: Inglesa, 2001. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://inglesadotcomdotmx.wordpress.com/04-libros-publicados/>
33. **MALTOSAA.** *La importancia del agua en la elaboración de cerveza* [blog]. México: Maltosaa, 2018. [Consulta: 11 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://maltosaa.com.mx/importancia-del-agua-en-la-elaboracion-de-cerveza/>
34. **MARTÍNEZ, Bryan.** *Diseño de una micro planta semiautomatizada para la producción de cerveza artesanal.* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de ciencias técnicas. Quito-Ecuador. 2021. págs. 19 – 21. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4808>

35. **MARTÍNEZ, Cristian.** Análisis prospectivo al 2020 de la industria de la cerveza artesanal en el Ecuador como generadora de crecimiento económico. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Andina Simón Bolívar, Área de Gestión. Quito-Ecuador. 2015. págs. 8–22. [Consulta: 2024-01-01]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5024/1/T1985-MBA-Martinez-Analisis.pdf>
36. **MELCHOR, José.** Rediseño de la red hidráulica para el suministro de agua potable al edificio A5+ en zona residencial y comercial Parques Polanco. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. México DF-México. 2009. pág. 36. [Consulta: 09 Enero 2024]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2738/melchorcercasjose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
37. **MERCADOLIBRE.** *Termómetro Vertical Bimetálico* [blog] Ecuador: Mercado libre, 2024. [Consulta: 09 Enero 2024]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-534938726-termometro-vertical-bimetalico-de-0-a-100-c-uso-industrial-_JM#position=12&search_layout=stack&type=item&tracking_id=8007203f-5840-4823-9912-838b864f8836
38. **MICETCRAFT.** *Equipos de la cervecería* [blog] China: Micet Craft, 2021 [Consulta: 13 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.micetcraft.com/es/cerveceria-equipo-material/>
39. **MINISTERIO DE CULTURA DE ARGENTINA.** *Historia de la cerveza* [blog]. Argentina: Secretaría de Cultura, 2016. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: https://www.cultura.gob.ar/cronologia-de-la-cerveza_7973/
40. **MOTT, Robert.** *Mecánica de fluidos* [en línea]. 6° ed. México: Pearson Educación, 2006. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>
41. **PALMA, Steven.** Sistema de control automatizado para proceso de cocción y Whirlpool de la cerveza artesanal [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de sistemas y telecomunicaciones. La Libertad-

Ecuador. 2020. pág. 40. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5361>

42. **PERALTA, Paola.** Usos culinarios de la cerveza. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad de Cuenca, Carrera de Gastronomía. Cuenca-Ecuador. 2013. págs. 11 – 13. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1617>
43. **PÉREZ, Ana; et al.** “Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona”. *Nexo Revista Científica* [en línea] 2019 (Cuba), vol. 32(1). págs. 61–74 [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <file:///C:/Users/alejo/Downloads/Dialnet-DisenodeUnIntercambiadorDeCalorDeSerpentinParaElEn-7317083.pdf>
44. **PÉREZ, Julián.** *Quemador* [blog]. México: Definición. de, 2023. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://definicion.de/quemador/>
45. **PUMPSTOPONLINE.** *Bomba De Agua Centrifuga en Acero Inoxidable* [blog]. Ecuador: Pump Stop Online, 2024. [Consulta: 28 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.pumpstoponline.com.ec/products/bomba-de-agua-centrifuga-en-acero-inoxidable-1hp-pearl>
46. **REVISTALÍDERES.** *Las cervecerías artesanales crecen en medio de los desafíos* [blog] Ecuador: Grupo El Comercio, 2019. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/cervecerias-artesanales-crecimiento-desafios-informe.html>
47. **RICAUARTE, Luis.** Diseño y simulación de un tanque mezclador de 10 000 gal para la elaboración de aceites lubricantes. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción. Guayaquil-Ecuador. 2016. págs. 11–36. [Consulta: 16 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/36620/D-CD88467.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

48. ROBLEDO, Armando. “Análisis de Falla del eje de una bomba centrífuga”. *Prospectiva* [en línea], 2004, (Colombia) vol.4 (1), pág. 63. [Consulta: 3 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251107010.pdf>

49. RODRIGUEZ, Jorge. *Introducción a la Termodinámica*. [en línea] 1ra ed. Argentina: UTN, 2019. [Consulta: 28 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termo/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Termodinamica.pdf>

50. ROLÓN, Humberto; et al. “Análisis térmico, modelamiento matemático y simulación de un reactor de agitación discontinuo para volumen específico”. *Revista UIS Ingenierías* [en línea], 2019, (Colombia) vol. 18(1), págs. 39 – 48 [Consulta: 28 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553762463004/>

51. ROMÁN, Marlon & CHAMORRO, Erick. Diseño y construcción de una planta piloto para la elaboración de cerveza. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 2022. pág. 18. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/1733de2a-5a83-422c-b431-56b9be645082>

52. SINNOTT, Ray & TOWLER, Gavin. *Diseño en ingeniería química* [en línea]. 5ta ed. Barcelona – España: editorial Reverté, 2012. [Consulta: 28 Diciembre 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/492349552/Diseno-en-Ingenieria-Quimica-Ray-Sinnott-Gavin-Towler-5-Edicion>

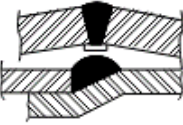
53. SKF. *Rodamientos*. [blog] Gotemburgo-Suecia: SKF, 2015 [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings>

54. **ZEGARRA, Jhesus.** Diseño mecánico y simulación de control de temperatura de un fermentador de Cerveza Artesanal. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería. Lima-Perú. 2018. pág. 11. [Consulta: 01 Enero 2024]. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3504/Jhesus%20Zegarra_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Total 54 referencia bibliográficas

ANEXOS

ANEXO A: EFICIENCIA DE LA JUNTA

EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"		NORMAS		
		FIGURA No. 1		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

ANEXO B: CALOR ESPECIFICO DEL AGUA

Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico	
	<u>kJ</u> K·kg	<u>kcal</u> K·kg		<u>kJ</u> K·kg	<u>kcal</u> K·kg		<u>kJ</u> K·kg	<u>kcal</u> K·kg
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						

ANEXO C: PROPIEDADES DEL AGUA

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

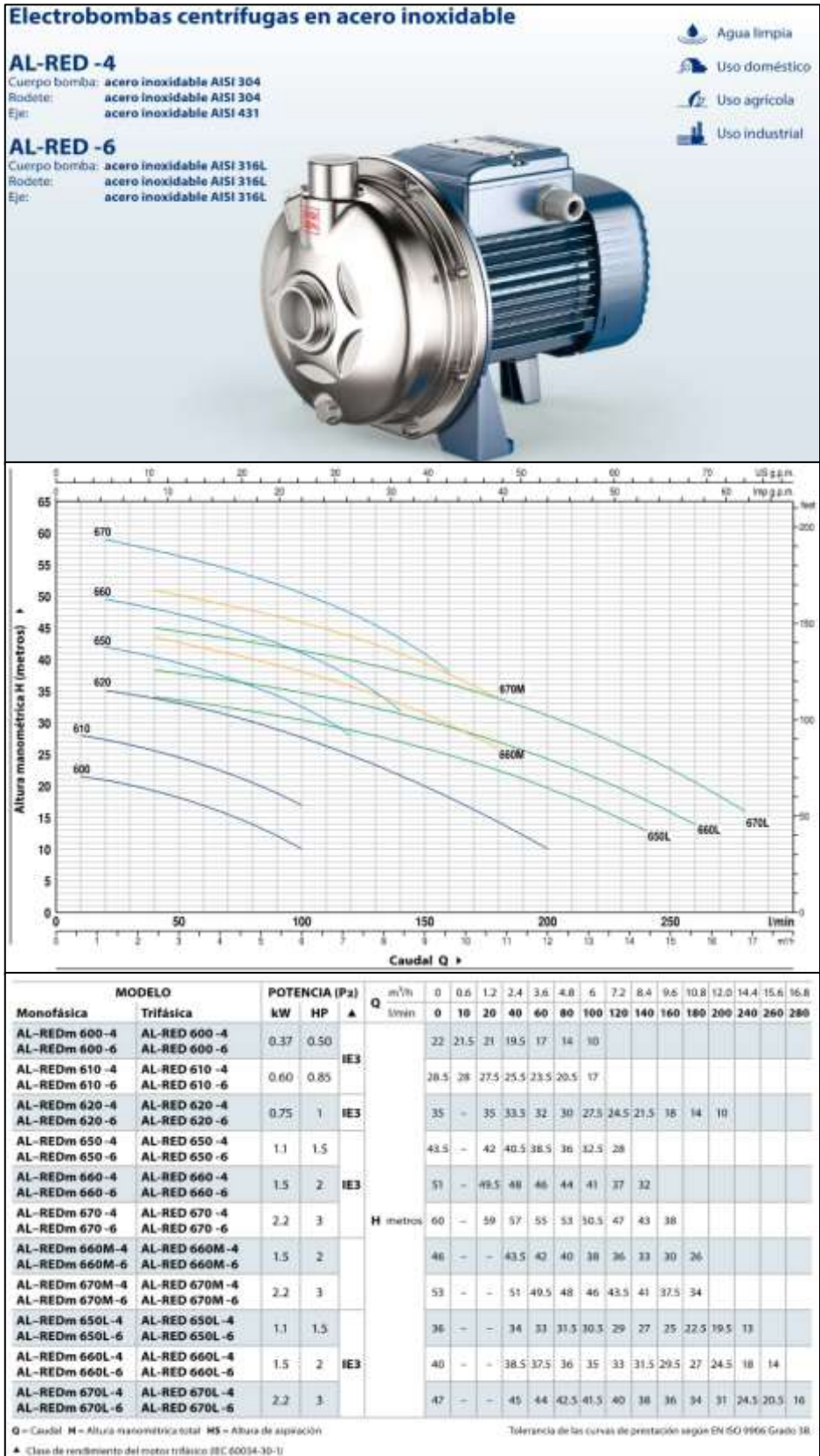
Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

ANEXO D: LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS

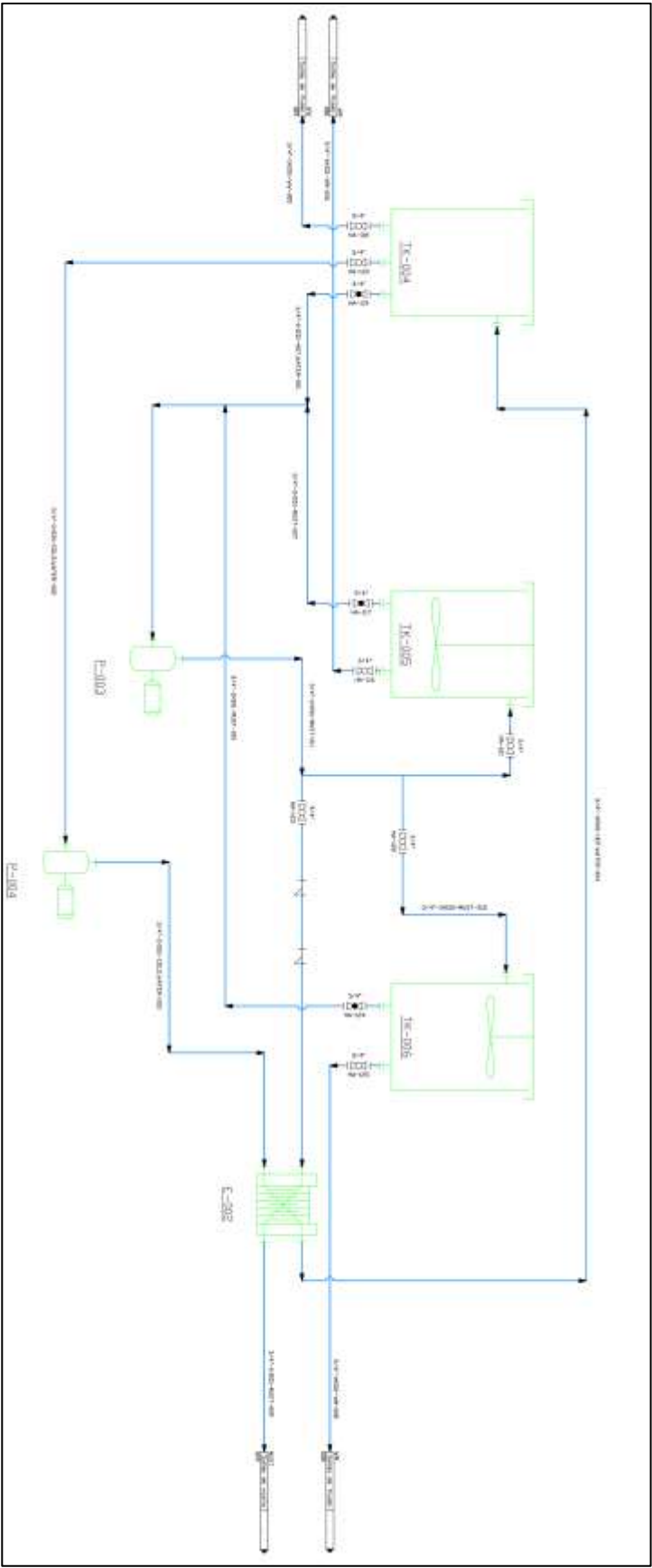
Clase de resistencia aislada	Dímetros de las tuberías (") (mm)	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
		10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	Manguito de unión	0,90	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,99	0,12	0,15	0,20	0,25
	Codo de reducción	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00
	Codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,18	1,25	1,45	1,63
	Curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54	1,97	2,61	3,43
	Codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21	2,94	3,99
	"Te" de 45°	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30
	"Te" arguada o de curvas ("pantalones")	1,50	1,88	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60
	"Te" confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
	"Te" derivación en ramal	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20	6,90	7,70	8,90
	Válvula retención de batiente de pistón	0,20 1,33	0,30 1,70	0,55 2,32	0,75 2,85	1,15 3,72	1,50 4,67	1,90 5,75	2,65 6,91	3,40 8,40	4,85 11,1	6,60 12,8	8,30 13,4
	Válvula retención paso de escuadra	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0	36,0	42,0	51,0
	Válvula de compuerta abierta	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,69	0,81	1,09	1,44	1,70
	Válvula de paso recto y asiento inclinado	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,46	4,53	5,51	6,69	8,80	10,8	13,1
	Válvula de globo	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0	39,0	47,5
	Válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,90	2,55	3,35	4,30	5,60	6,85	8,60	11,1	13,7	17,1	21,2	25,5
	Válvula de asiento de paso recto	-	3,40	3,60	4,50	5,65	8,10	9,00	-	-	-	-	-
	Intercambiador	-	-	-	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25	-	-	-
	Radiador	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,00
	Radiador con valvulería	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,10	11,40	12,70	14,00	15,00
	Caldera	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,00
	Caldera con valvulería	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50	10,00	11,00	12,00
	Contador general individual o derivatorio	4,5m d.a. 10m d.a.											

Nota: Para tuberías lisas (k=0,05 mm) multiplicar los valores del cuadro por 1,40

ANEXO E: CARACTERISTICAS DE LA BOMBA



ANEXO F: DIAGRAMA P&ID DE LA INSTALACION



ANEXO G: ESPECIFICACIONES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS



Especificaciones Técnicas

Cliente :
Modelo : BL50D-20(3TON)
Proyecto :
Item : **Fecha : Viernes 8-11**

Fluido		Agua	R22
Caudal másico	lb/h	3585	511.2
Fluido Condensado/Vaporizado	lb/h	0.000	409.0
Temperatura de Entrada	°XF	54.0	37.5
Temperatura de salida (vapor/líquido)	°XF	44.0	41.0
Presión de Funcionamiento (In/Out)	psia	/	83.8/75.8
Caída de Presión (Perm/Calc)	psi	14.5/3.50	14.2/8.08
Conexión de Velocidad (In/Out)	ft/s	2.57/2.57	2.08/10.3
Intercambio de Calor	kBtu/h	36.00	
Área de transferencia de calor	ft ²	9.9	
O.H.T.C condiciones limpias	Btu/ft ² ,h,°XF	502.2	
O.H.T.C servicio	Btu/ft ² ,h,°XF	413.5	
Resistencia al sucio* 10000	ft ² ,h,°XF/Btu	0.0	
Exceso de superficie adicional	%	21	
Diferencia de temperatura media	°XF	8.8	
Dirección relativa de los fluidos		Contracorriente	
No. de placas		20	
No. de placas efectivas		18	
Número de pases		1	1
Material/espesor de la placa		AISI 316 / 0.40 mm	

El rendimiento está condicionado a la precisión de los datos del cliente y la capacidad del cliente para suministrar equipos y productos de conformidad con los mismos.

Dirección: Av. Quito 1800 y Pedro Pablo Gomez, Guayaquil, Ecuador
Tel +593 98 024 8010, +593 9877 98957, +593 99 887 6980

ANEXO H: RESULTADO FINAL DE LA PLANTA TERMINADA E INSTALADA



ANEXO I: ELABORACION DE LA CERVEZA ARTESANAL



ANEXO J: FABRICACION DE LA NUEVA PLANTA



ANEXO K: Manual de operaciones

1. INFORMACION GENERAL

La planta es utilizada para la creación de cerveza artesanal siguiendo una serie de pasos necesarios para transformar la materia prima la cual tiene productos tanto locales como exportados, para asegurar así una excelente calidad en el producto final.

2. DICCIONARIO

Malta: Es el producto de someter el grano de cebada a un proceso de germinación, secado y tostado.

Lúpulo: Es una planta encargada de brindar a la cerveza aroma, sabor, amargor y conservación.

Levadura: Es un hongo que ayuda en el proceso de fermentación brindando sabor y aroma a la cerveza.

Maceración: mezcla de la malta molida con agua caliente para extraer los azúcares fermentables.

Fermentación: Conversión de glucosa de los azúcares en alcohol y dióxido de carbono.

Mosto: Es el líquido obtenido después de la maceración del grano malteado.

Bagazo: Es el residuo sólido que queda después de la maceración de la malta durante la elaboración de la cerveza.

Intercambiador de calor: Es un dispositivo que permite transferir calor de un fluido a otro sin que los fluidos se mezclen.

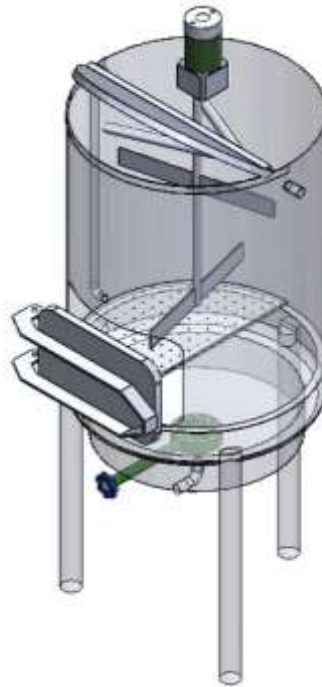
3. ELEMENTOS DE LA PLANTA

3.1. Recipiente de climatización



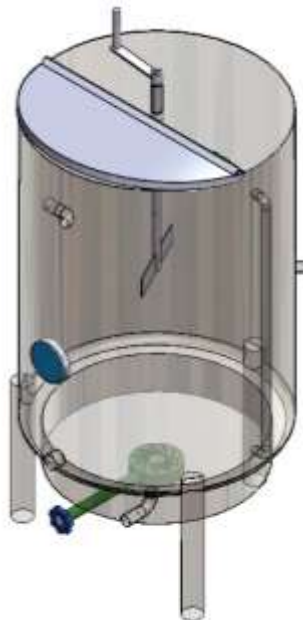
Es utilizado para calentar y enfriar agua durante todo el proceso de elaboración de la cerveza.

3.2. Recipiente de maceración



Es el encargado de mezclar el agua con la malta para generar el mosto, también se calienta para mantener una temperatura estable.

3.3. Recipiente de cocción



Es en el cual se realiza la cocción del mosto y se mezcla con los lúpulos de sabor, amargor y clarificación a 98°C.

3.4. Bombas



Estas bombas son las encargadas de hacer circular fluido por todo el sistema de tuberías el cual puede ser agua caliente, agua fría o mosto, existen 2 en todo el sistema.

3.5. Quemadores



Son los encargados de aumentar y mantener la temperatura del agua y el mosto.

3.6. Termómetro



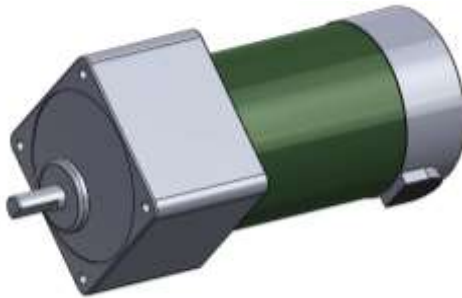
Son los encargados de mostrar la temperatura interna de cada recipiente sin necesidad de abrir las tapas.

3.7. Estructura base



Es la encargada de soportar y dar estabilidad a los recipientes.

3.8. Motor reductor



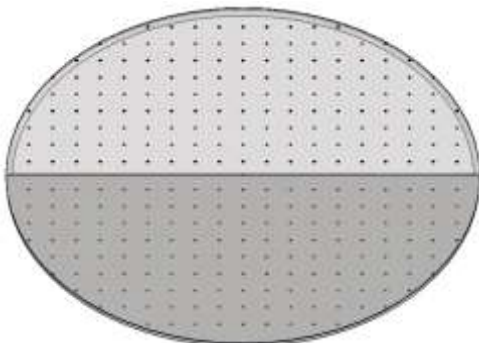
El motor reductor de velocidad ayuda a girar constantemente el eje del agitador de 80 a 130 revoluciones por minuto.

3.9. Ducha Flauta



Ayuda a regar el mosto con agua de forma controlada y delicada.

3.10. Malla para mosto

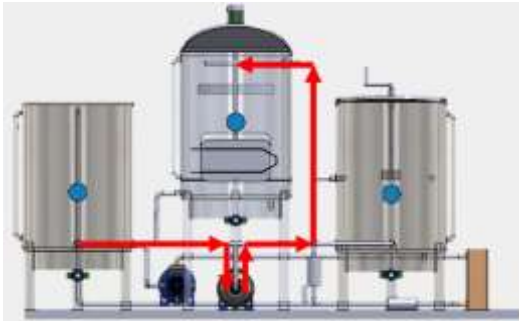


Es la encargada de atrapar todo el bagazo dentro de la olla de maceración para que únicamente pase el mosto por las tuberías.

4. SISTEMAS HIDRAULICOS

Se compone de 4 tramos los cuales serán útiles para diferentes etapas del proceso.

4.1. Tramo 1



4.2. Tramo 2



4.3. Tramo 3



4.4. Tramo 4



5. PROCESO DE TRABAJO DE LA PLANTA CERVECERA

- Colocar 200 litros de agua en el recipiente de climatización, encender el quemador y calentar el agua durante 60 minutos aproximadamente o hasta que la temperatura llegue a los 75°C.
- Cerrar manualmente todas las válvulas dejando únicamente abiertas las válvulas del tramo 1.
- Verificar que la tapa del man hole se encuentre cerrada, así como la tapa superior del recipiente de maceración.
- Encender la bomba 1 haciendo que el agua caliente pase del recipiente de climatización hacia el recipiente de maceración.
- Abrir la tapa superior y colocar la malta anteriormente molida en el recipiente de maceración y cerrar la tapa nuevamente.
- Apagar la bomba y cerrar todas las válvulas.
- Encender el motor reductor para que empiece la mezcla de los productos de forma homogénea durante 60 minutos, manteniendo la temperatura en un rango de entre 68 a 72 °C.
- Una vez transcurrido el tiempo abrir las válvulas únicamente del tramo 2.
- Encender la bomba 1 nuevamente para que el mosto pase desde el recipiente de maceración hacia el recipiente de cocción.
- Bajar el agitador de la olla de cocción y manualmente empezar a generar un remolino, el cual ayudara a que todos los elementos solidos se concentren en el centro del recipiente.
- Colocar los lúpulos de amargor, sabor y clarificación, en las cantidades de preferencia a lo largo de 70 minutos que debe durar la cocción a una temperatura de 98°C
- Mientras transcurre el tiempo se debe realizar la limpieza del recipiente de maceración, abriendo la tapa man hole y con una pala retirando el bagazo de la cebada.
- De igual manera es necesario llenar la olla de climatización con agua y hielos para que la temperatura bordee los 0°C.
- Una vez haya llegado a sus tiempos establecidos, se debe enfriar inmediatamente el mosto.
- Abrir las válvulas del Tramo 3 y 4, encender esta vez la bomba 1 la cual hará circular el mosto caliente hacia el intercambiador de calor y la bomba 2 la cual hará circular el agua fría hacia el intercambiador de calor y enfriar rápidamente el mosto.
- El mosto se enfriará de 18 a 25°C en un transcurso de 4 a 5 minutos para posteriormente enviar el mosto hacia los fermentadores para su posterior embotellado.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 16/10/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Kelvin Albino Toasa Quispe Bryan Alejandro Castillo Paguay
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Mecánica
Título a optar: Ingeniero Mecánico
 Ing. María Verónica Albuja Landi, MSc. Directora del Trabajo de Integración Curricular  Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez, MSc. Asesor del Trabajo de Integración Curricular