



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FERMENTADOR TIPO BATCH, COMO PARTE DE UNA LÍNEA DE PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: PAULA CAMILA CÓRDOVA TAPIA

ROMY SEBASTIÁN ROMERO VALLE

DIRECTORA: Ing. MABEL MARIELA PARADA RIVERA M.Sc

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Paula Camila Córdova Tapia & Romy Sebastián Romero Valle

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

Nosotros, Paula Camila Córdova Tapia y Romy Sebastián Romero Valle, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual perteneces a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-

Riobamba, 04 de enero del 2021.

Paula Camila Córdova Tapia
Cédula de Identidad: 060418382-2

Romy Sebastián Romero Valle
Cédula de Identidad: 060417885-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo Proyecto Técnico “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FERMENTADOR TIPO BATCH, COMO PARTE DE UNA LÍNEA DE PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL**” de responsabilidad de la señorita **PAULA CAMILA CÓRDOVA TAPIA** y el señor **ROMY SEBASTIÁN ROMERO VALLE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderon Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-09-16
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera M. Sc DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2021-09-16
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy M. Sc MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-09-16

DEDICATORIA

Mi dedicación en primer lugar a Dios por brindarme salud y vida, y por otorgarme a una familia maravillosa que me apoyado en cada etapa y decisión en mi vida, me han brindado la fortaleza y amor para cumplir mis metas, A mi abuelita Emma, tía Ximena y mamá Jeanneth que gracias a su presencia y esfuerzo diario han formado y construido la persona que soy.

Paula

Este trabajo está dedicado a Dios en primer lugar y a mi mamá Charito que me ha dado el ejemplo de esfuerzo y responsabilidad para avanzar en el camino de mi vida, y me ha brindado el apoyo incondicional en mis decisiones. A mis hermanos y hermanas que han sido incondicionales en amor y comprensión para ser quien soy hoy en día.

Romy

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado salud y vida, en segundo lugar, a mi familia que ha sido mi pilar fundamental de apoyo y esfuerzo en especial a Emma, Jeanneth y Ximena, quiero agradecer a la ESPOCH por la oportunidad de formación como ser humano y profesional. A mi tutora la Ing. Mabel Parada M. Sc y a mi asesor Ing. Ramiro Cepeda M. Sc que han sido guías fundamentales y necesarias en este proyecto técnico ya que con su conocimiento, paciencia y tiempo he logrado culminar con mi trabajo de integración curricular.

Paula

El agradecimiento de este trabajo va dirigido a Dios en primer lugar ya que sin la bendición de él nada sería posible, a mi mamá Charito que ha sido mi fuerza y pilar en esta etapa de mi vida, a mi querida ESPOCH que me ha brindado la preparación y el conocimiento para formarme como profesional y ser humano, también quiero agradecer por el tiempo, esfuerzo y paciencia a mi tutora la Ing. Mabel Parada M. Sc y a mi asesor Ing. Ramiro Cepeda M. Sc por ser parte fundamental en la realización del presente proyecto técnico ya que gracias a ellos se ha podido culminar este trabajo de integración curricular.

Romy

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1. Identificación del problema	2
1.2. Justificación del proyecto.....	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. <i>General</i>	3
1.3.2. <i>Específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1. Antecedentes del Laboratorio de Procesos Industriales	5
2.2. Antecedentes de la elaboración de la cerveza artesanal.....	5
2.3. Cerveza.....	6
2.3.1. <i>Tipos de cerveza</i>	7
2.3.1.1. <i>Cerveza de fermentación baja</i>	7
2.3.1.2. <i>Cerveza de fermentación alta</i>	7
2.3.2. <i>Formas de producción de Cerveza</i>	8
2.3.3. <i>Cerveza artesanal</i>	8
2.3.3.1. <i>Diagrama del proceso de producción de cerveza artesanal</i>	9
2.3.3.2. <i>Factores que afecta la calidad de la cerveza artesanal</i>	10
2.3.3.3. <i>Características de la cerveza artesanal</i>	10
2.3.3.4. <i>Diferencias entre cervezas industriales y artesanales</i>	11
2.3.3.5. <i>Materia prima para la elaboración de la cerveza artesanal</i>	12
2.3.3.6. <i>Fermentación alcohólica</i>	18
2.4. Sistemas de fermentación.....	19

2.4.1.	<i>Fermentación de lote</i>	19
2.4.2.	<i>Fermentación de lote alimentado</i>	20
2.4.3.	<i>Fermentación continua</i>	20
2.4.4.	<i>Ventajas y desventajas de los sistemas de fermentación tipo lote y continuos</i>	21
2.5.	Velocidad de reacción	21
2.6.	Sistemas de agitación	23
2.6.1.	<i>Tipos de agitadores</i>	23
2.6.1.1.	<i>Agitadores de hélices</i>	24
2.6.1.2.	<i>Agitadores de paletas</i>	24
2.6.1.3.	<i>Agitadores de turbina</i>	24
2.7.	Beneficiarios directos e indirectos	25
2.7.1.	<i>Beneficiarios Directos</i>	25
2.7.2.	<i>Beneficiarios Indirectos</i>	25

CAPÍTULO III

3.	ESTUDIO METODOLÓGICO	26
3.1.	Localización del Proyecto	26
3.2.	Tipo de estudio	27
3.3.	Metodología	27
3.3.1.	<i>Métodos</i>	27
3.3.1.1.	<i>Método Deductivo</i>	27
3.3.1.2.	<i>Método Inductivo</i>	28
3.3.1.3.	<i>Método Experimental</i>	28
3.3.2.	<i>Técnicas</i>	28
3.4.	Experimentación	33
3.4.1.	<i>Equipos, materiales, materia prima y aditivos</i>	33
3.4.1.1.	<i>Conceptualización de la materia prima usadas durante la experimentación a nivel laboratorio</i>	33
3.4.2.	<i>Esquema experimental para la elaboración de la cerveza artesanal en el laboratorio</i>	34
3.4.2.1.	<i>Descripción del procedimiento a nivel de laboratorio</i>	34
3.4.3.	<i>Variables del proceso de fermentación</i>	37
3.5.	Cálculos de ingeniería	38
3.5.1.	<i>Balance de masa y energía del fermentador</i>	38
3.5.1.1.	<i>Balance de masa del fermentador</i>	38
3.5.1.2.	<i>Balance de energía en la etapa de fermentación</i>	39
3.5.2.	<i>Dimensionamiento del fermentador tipo Batch</i>	44

3.5.3.	<i>Diseño del sistema de agitación</i>	57
3.5.4.	<i>Ciclo de refrigeración</i>	58
3.5.5.	<i>Accesorios usados en el tanque fermentador</i>	60
3.5.6.	<i>Cálculo de la Velocidad de reacción</i>	61
3.6.	Balance de masa de la línea de producción de cerveza artesanal	64

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1.	Resultados del diseño del fermentador	65
4.2.	Resultados de curvas experimentales para el diseño del equipo	66
4.3.	Validación del producto realizado en el fermentador diseñado	73
4.3.1.	<i>Análisis físico-químico</i>	73
4.3.2.	<i>Análisis microbiológico</i>	74
4.4.	Escalamiento semi industrial de la Producción de cerveza artesanal tipo Ale (Balance de masa en horizontal)	74
4.5.	Validación real del equipo fermentador	76
4.6.	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	80
4.7.	Análisis de Costo/beneficio del proyecto	81
4.7.1.	<i>Presupuesto de la materia prima para la elaboración del producto</i>	81
4.7.2.	<i>Presupuesto construcción equipos</i>	82
4.7.3.	<i>Presupuesto de la línea de proceso</i>	83
4.8.	Análisis y discusión de resultados	83
	CONCLUSIONES	86
	RECOMENDACIONES	87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Antecedentes de la investigación	6
Tabla 2-2:	Características de una cerveza tipo Ale de calidad.....	8
Tabla 3-2:	Diferencias entre la cerveza industrial y artesanal	11
Tabla 4-2:	Composición química del lúpulo	15
Tabla 5-2:	Diferencias entre tipos de levadura	17
Tabla 6-2:	Composición del agua para fabricar cerveza.....	17
Tabla 7-2:	Ventajas y desventajas de los sistemas de fermentación tipo lote y continuos	21
Tabla 1-3:	Localización geográfica de Tunshi	26
Tabla 2-3:	Determinación de alcohol	29
Tabla 3-3:	Determinación de grados brix	29
Tabla 4-3:	Determinación de la densidad	30
Tabla 5-3:	Determinación de la carbonatación	30
Tabla 6-3:	Determinación de la acidez total	31
Tabla 7-3:	Determinación de pH	31
Tabla 8-3:	Determinación de microorganismos aerobios	32
Tabla 9-3:	Determinación de mohos y levaduras	32
Tabla 10-3:	Materiales, equipos y reactivos	33
Tabla 11-3:	Materia prima.....	33
Tabla 12-3:	Variables del proceso.....	37
Tabla 13-3:	Coeficientes de transferencia de calor	56
Tabla 14-3:	Materiales empleados en las paredes del fermentador.....	56
Tabla 1-4:	Resultados del diseño del fermentador.....	65
Tabla 2-4:	Resultados del diseño del fermentador.....	66
Tabla 3-4:	Tiempo de fermentación vs pH	67
Tabla 4-4:	Tiempo de fermentación vs Densidad	68
Tabla 5-3:	Tiempo de fermentación vs °Brix	70
Tabla 6-4:	Tiempo de fermentación vs % de alcohol	71
Tabla 7-4:	Análisis físico-químico de la cerveza artesanal.....	74
Tabla 8-4:	Análisis microbiológico de la cerveza artesanal.....	74
Tabla 9-4:	Materiales de construcción del fermentador.....	80
Tabla 10-4:	Costo de la materia prima e insumos para la elaboración de cerveza	81
Tabla 11-4:	Costo botellas de cristal de ámbar.....	82
Tabla 12-4:	Costo total de producción	82

ÍNDICE}. DE FIGURAS

Figura 1-2:	Cerveza artesanal.....	9
Figura 2-2:	Cerveza artesanal.....	9
Figura 3-2:	Cebada.....	12
Figura 4-2:	Coloración de la malta a diferentes temperaturas de secado	14
Figura 5-2:	Hoja de lúpulo y en pellets	14
Figura 6-2:	Levadura Nottingham.....	16
Figura 7-2:	Reacciones químicas que se produce para la fermentación	19
Figura 8-2:	Principales tipos de agitadores	24
Figura 1-3:	Localización de la Planta de Lácteos ESPOCH.....	26
Figura 2-3:	Diagrama de flujo para la elaboración de la cerveza artesanal	34
Figura 3-3:	Maceración.....	35
Figura 4-3:	Filtrado	35
Figura 5-3:	Mosto	36
Figura 6-3:	Fermentación.....	36
Figura 7-3:	Envasado	37
Figura 8-3:	Reacción de la sacarosa	41
Figura 9-3:	Tanque fermentador.....	44
Figura 10-3:	Aislante térmico	55
Figura 11-3:	Sistema de enfriado	58
Figura 12-3:	Cebada.....	76
Figura 13-3:	Molienda	76
Figura 14-3:	Cocción	77
Figura 15-3:	Lavado de la cebada	77
Figura 16-3:	Cocción	77
Figura 17-3:	Enfriamiento.....	78
Figura 18-3:	Adición de mosto al tanque fermentador	78
Figura 19-3:	Adición de levadura.....	79
Figura 20-3:	Cerveza sin carbonatar	79
Figura 21-3:	Tanque de carbonatación.....	79
Figura 22-4:	Proceso de obtención en la línea de producción	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-2:	Curva de crecimiento de la levadura	19
Gráfica 2-2:	Configuración de un proceso de fermentación de lote	20
Gráfica 3-2:	Fermentadores continuos del tanque agitador en serie	21
Gráfica 1-4:	pH de la fermentación.....	67
Gráfica 2-4:	Densidad de la fermentación.....	68
Gráfica 3-4:	Grados brix durante la fermentación.....	70
Gráfica 4-4:	Grados brix durante la fermentación.....	72
Gráfica 5-3:	Velocidad de reacción.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Fórmulas expresadas en función de las dimensiones internas (presión interna).

ANEXO B: Tabla para el cálculo de valores máximos de esfuerzos permitidos

ANEXO C: Tabla para la determinación de la eficiencia de la soldadura en función del tipo de junta.

ANEXO D: Solubilidad del CO₂ en cerveza.

ANEXO E: Velocidad de reacción.

ANEXO F: Factura de la construcción del fermentador.

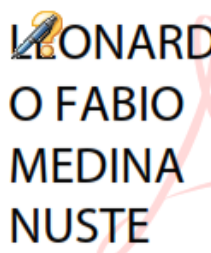
ANEXO G: Análisis físicos-químicos y microbiológicos.

ANEXO H: Planos del fermentador.

RESUMEN

Se realizó el diseño y construcción de un fermentador tipo Batch como parte de una línea de proceso para la obtención de cerveza artesanal para el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, el proceso inició mediante la realización de la cerveza a escala de laboratorio, donde se obtuvo las variables de diseño para su dimensionamiento como el pH inicial (5,6), grados Brix (11,9), temperatura y selección de cepas para producir la fermentación. Una vez obtenidas las variables y mediante la aplicación de normativas, se realizaron los cálculos basados en los ensayos experimentales y en el código ASME. Posteriormente para la construcción del equipo, se seleccionó el tipo de material siendo el acero inoxidable el adecuado, debido a sus características de inocuidad ante productos de ingesta humana. El producto debe ser de calidad con base en la norma INEN 2263:2013, bajo este contexto se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la cerveza tipo Ale obtenida, la cual se basa en malta y lúpulo. El fermentador cuenta con una capacidad total de producción de 60 litros en forma individual, mientras que cuando se encuentra en la línea de producción puede producir 42 litros. El equipo construido cumple con todos los parámetros de diseño establecido, esto se determinó mediante la validación del fermentador verificando su funcionamiento y la obtención de resultados como el contenido alcohólico (5,2), el pH final (4,41), microorganismos anaerobios 8 unidades formadora de colonia por cm³ y nueve en Mohos y levaduras; cumpliendo valores permisibles de la norma INEN 2263:2013. Se concluye que el diseño del proceso es adecuado para la obtención de un producto de calidad. Finalmente, se recomienda emplear las buenas prácticas de manufactura, para evitar la contaminación del producto final, además de realizar periódicamente un mantenimiento preventivo.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN>, <CERVEZA ARTESANAL>, <FERMENTADOR>, <PARÁMETROS DE DISEÑO>, <PROCESO QUÍMICO>.

 LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Firmado digitalmente por
LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL
ECUADOR, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=000021485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2021.08.20 10:48:29 -05'00'



1590-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The design and construction of a Batch-type fermenter was carried out as part of a process line to obtain craft beer for the Laboratory of Industrial Processes of the Faculty of Sciences of the ESPOCH. The process began by making the beer to scale laboratory, where the design variables were obtained for their dimensioning such as initial pH (5.6), Brix degrees (11.9), temperature and selection of strains to produce fermentation. Once the variables were obtained and through the application of regulations, the calculations were made based on the experimental trials and the ASME code. Subsequently, for the equipment construction, the material type was selected, stainless steel being the appropriate one, due to its safety characteristics for the human ingestion products. The product must be of quality based on the INEN 2263: 2013 standard, under this context the physicochemical and microbiological characterization of the Ale-type beer obtained was carried out, which is based on malt and hops. The fermenter has a total production capacity of 60 liters individually, while when on the production line it can produce 42 liters. The built equipment complies with all the established design parameters; this was determined by validating the fermenter, verifying its operation and obtaining results such as alcohol content (5.2), final pH (4.41), anaerobic microorganisms, 8 colony-forming units per cm³ and nine in Molds and yeasts; complying with permissible values of the INEN 2263: 2013 norm. It is concluded that the process design is adequate to obtain a quality product. Finally, it is recommended to use Good manufacturing practices to avoid contamination of the final product, in addition to periodically performing preventive maintenance.

Key words: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <DESIGN AND CONSTRUCTION>, <CRAFT BEER>, <FERMENTER>, < DESIGN PARAMETERS>, <CHEMICAL PROCESS>.

INTRODUCCIÓN

La cerveza es considerada una de las bebidas más antiguas de la civilización, siendo así se cree que ha existido desde el año 10000 a.C. y en la actualidad la cerveza se ha convertido en un producto consumido por las masas llegando a tener una alta aceptabilidad, no solo en país sino a nivel mundial, es por ello que existen diferentes tipos de cerveza ya sea por las diferentes materias primas para su obtención y de su forma de producción, sea esta industrial, semiindustrial y artesanal. (Arroyo Lluen, 2019, p. 32)

En el Ecuador la cerveza artesanal se encuentra en expansión, ganando en los últimos años a espacio en los consumidores, cabe mencionar que como toda bebida alcohólica su producción se encuentra dirigida para el público adulto, mismo que se inclina por productos artesanales debido a que para su elaboración el productor pone mayor énfasis en los detalles y se obtiene un producto de mayor calidad, presentación y diversidad en sabores gracias a que combina diferentes lúpulos, maltas, granos, entre otros destacando su calidad y naturalidad a diferencia de una cerveza industrializada. (Rodríguez Cruz, 2015, p. 56)

La producción de cerveza implica procesos que terminan su calidad final, como la maceración, filtración, ebullición, fermentación, maduración y carbonatación. Siendo así que la elaboración de una cerveza artesanal tipo Ale como se describe en el presente trabajo depende de una parte fundamental en el proceso de obtención, como es la fermentación donde el principal ingrediente para que este se produzca es la levadura, responsable de los procesos metabólicos de los microorganismos los cuales permiten la conversión de los azúcares en alcohol, además de controlar variables como el grado alcohólico, pH, grados brix, entre otros, que brindaran la certeza de una obtención de un producto de calidad, y con ello la seguridad de haber diseñado y construido un fermentador tipo Batch a base de normativas como la ASME acorde a las necesidades que se desee, más aún al ser un equipo para el desarrollo estudiantil y profesional para la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La industria cervecera artesanal a nivel global determina que para que una cerveza sea considerada como artesanal tiene que estar compuesta solamente de materias primas como agua, malta, cebada, lúpulo y levadura, que posteriormente dará paso a una cerveza que se compone de alcohol, anhídrido carbónico, glicerina, dextrina, maltosa, sustancias nitrogenadas, materias minerales y pequeñas proporciones de sustancias amargas, taninos y ácidos orgánicos (Rubén Sancho Saurina, 2015, p.14).

Ahora bien, la Carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH cuenta con laboratorios especializados en diferentes áreas científicas, siendo uno de los más importantes y de mayor demanda el Laboratorio de Procesos Industriales, en el cual existen diferentes equipos diseñados a pequeña escala que permita a los estudiantes de la carrera y otras, realizar la experimentación e investigación sobre las operaciones unitarias más relevantes en la industria.

Es necesario mencionar que la mayoría de los equipos son el resultado de trabajos de titulación de los estudiantes de la carrera o donaciones recibas hacia la institución gracias a entidades nacionales e internacionales, en tal virtud pese a la gama de maquinaria con la que cuenta el laboratorio, no existe equipamiento adecuado para simulación experimental de la elaboración artesanal de cerveza debido a que dicho equipamiento no ha sido implementado según las necesidades reales del currículo académico, más aún un fermentador tipo Bach para dicha bebida, por otra parte en el trascurso del tiempo la falta de mantenimiento preventivo o correctivo ha incurrido en un problema práctico, ya que algunos equipos no funcionan o su tiempo de vida útil se ha excedido.

Bajo este contexto, se ha visto la necesidad de implementar una línea de procesos para la obtención de cerveza, de tal manera se ha dividido dicha implementación en distintos grupos de tesis, por lo cual la presente tiene como enfoque la operación unitaria de la fermentación, siendo esta esencial dentro de la industria de las bebidas alcohólicas, ya que de toda la línea de producción se puede decir es la más importante, ya que, aquí se da las reacciones de fermentación permitiendo que los azúcares contenidos en el mosto den paso a la formación de etanol y dióxido de carbono por parte de la levadura, y dicho proceso no se ha llevado a cabo dentro de las prácticas experimentales debido a la falta de maquinaria, perjudicando de este modo el aprendizaje del estudiantado y el conocimiento práctico sobre esta temática.

1.2. Justificación del proyecto

La cerveza es una bebida vinculada desde la antigüedad y sus primeras referencias históricas yace hace 6000 años, los franceses y alemanes perfeccionaron la técnica de fabricación original con métodos que aun en la actualidad se usan, pero desde su origen se tiene la intervención de ingredientes naturales como cebada, levadura, agua y lúpulo, este último fue incorporado a la elaboración de la cerveza en el siglo IX debido a sus propiedades antisépticas, además de ser el ingrediente responsable del amargor característico de la bebida. La principal diferencia que existe entre la cerveza artesanal y la industrial es las proporciones, el tratamiento de la materia prima y en el proceso de elaboración (Calvillo, 2017, pp.23-24).

Mediante el presente trabajo se busca implementar un fermentador tipo Batch dentro del equipamiento del laboratorio de Procesos industriales donde los estudiantes e investigadores que realicen sus actividades académicas contando con la maquinaria adecuada para la experimentación y comprensión de las distintas variables y parámetros que rigen la fermentación alcohólica, de este modo se mejorarán e impartirán prácticas experimentales nuevas y acorde a la malla curricular de las diferentes asignaturas que forman parte de la carrera de Ingeniería Química, además al implementar dicho fermentador se espera utilizar y complementar una línea de producción de cerveza con el empleo de los diferentes equipos que aportarán los distintos grupos de tesis, de esta manera la institución, el personal académico y los estudiantes de la escuela de Ingeniería Química e incluso de otras carreras se verán beneficiados de forma directa tras la culminación del presente trabajo de titulación.

La cerveza artesanal obtenida del fermentador diseñado como parte de la línea de producción deberá cumplir con los requisitos de calidad conforme a lo establecido en la Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN, 2262:2013 BEBIDAS ALCOHOLICAS, CERVEZA. REQUISITOS, optando de esta manera por un producto de calidad, aún a pesar de ser un equipamiento netamente con fines de aprendizaje.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Diseñar y construir un fermentador tipo Batch, como parte de una línea de procesos para la obtención de cerveza artesanal.

1.3.2. Específicos

- Determinar los parámetros y variables que se controlarán en el proceso de fermentación de la línea de proceso para la elaboración de cerveza.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño y construcción del fermentador Batch acorde a las necesidades de la línea de producción.
- Equipar el laboratorio de Procesos Industriales con un fermentador tipo Batch.
- Validar el funcionamiento del fermentador Batch mediante la obtención de cerveza artesanal bajo parámetros establecidos según la norma NTE INEN 2262.

CAPÍTULO II

2. Marco conceptual

2.1. Antecedentes del Laboratorio de Procesos Industriales

Desde sus inicios la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha optado por la adecuación de laboratorios especializados los cuales permitan el desarrollo cognitivo y experimental de los estudiantes mediante un aprendizaje práctico, con la expectativa de lograr profesionales líderes, capaces de analizar los procesos y dar soluciones a las dificultades que se puedan presentar en el campo de trabajo.

Es por eso que el Laboratorio de Proceso Industriales como se le conoce en la actualidad, a sumado dentro de su infraestructura equipos semiindustriales e industriales que logren el objetivo planteado de aprendizaje estudiantes, por ejemplo, en la simulación de procesos de secado, y otras operaciones unitarias. Siendo así que muchos de estos equipos han sido realizados en estudios realizados por estudiantes con respecto a la entrega de su trabajo final de titulación.

Por lo cual con la finalidad que dicho laboratorio siga creciendo aun hoy en día y con cuyo objetivo sea el desarrollo del estudiante, donde se lleva incluso a realizar estudios de investigación, se sigue implementando equipos que simulen procesos industriales.

2.2. Antecedentes de la elaboración de la cerveza artesanal

En la actualidad en el mundo se consume cervezas elaboradas industrialmente, las que se realizan mediante una mezcla de cereales y malta, al igual que con ayuda de adjuntos como el maíz o el arroz, esto debido que para las empresas resulta más económico en costos de producción, así como el uso de estabilizantes y oxidantes, lo que a pesar de dar una cerveza de consumo humano a perdido la esencia de solo usar las materias primas tradicionales. (Soria, 2017, p. 16)

Para considerar que la cerveza se considere artesanal las autoridades bávaras en el año de 1516 introdujeron la ley de pureza, que establece que los únicos ingredientes para la elaboración de cerveza deben ser agua, cebada malteada, levadura y lúpulo, por lo que es considerada más sana a diferencia de la industrial debido a que no cuenta con productos químicos.

Por otro lado la cerveza industrial al tener una mayor demanda tiene menor tiempo de maduración debido a que ni bien es embotellada se espera de 4 a 5 días a ser comercializada, por lo cual no cumple con un tiempo adecuado para que esté a punto y casi siempre elaboran el mismo estilo de cerveza como son la Lager y Pilsner, teniendo características similares entre ellas a diferencia de la etiqueta, mientras que la cerveza artesanal cuenta con una gran variedad de estilos, que cuentan con un tiempo de 2 a 30 días, mismas que son elaboradas en micro cervecerías en lotes

pequeños lo que permite la realización de infinidad de cervezas como Rojas, Ahumadas, Rubias, Amargas, Negras, con un bajo o alto contenido de alcohol (Soria, 2017, p. 24).

En el Ecuador la producción de cerveza artesanal está en aumento, algunas ya con marcas registradas mientras que existen otras que están surgiendo como emprendimiento, es así que por ejemplo en San Cristóbal existe la presencia de una fábrica que elabora cerveza artesanal denominada Galapagueña caracterizada por el contrario un toque dulce, mientras que en Manta la marca Umiña.

Tabla 1-2: Antecedentes de la investigación

Nombre del estudio	Tipo	Autor	Año
Diseño de un proceso industrial para la elaboración de cerveza artesanal a base de cebada (<i>hordeum vulgare</i>) y cacao de fino aroma (<i>theobroma cacao</i>)	Tesis/ Ingeniería	-Soria Ludisaca Jaime Alfredo	2017
Diseño y dimensionamiento de una línea de elaboración de cerveza artesana acondicionada en botella con levadura no-saccharomyces, con una capacidad de 6000L/semana	Tesis/ Ingeniería	María Galicia Gonzáles	2019
Diseño de una línea de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Quevedo para consumo directo.	Tesis/ Ingeniería	-Acosta Aníbal -Acurio César	2018
Propuesta de mejora en la producción de cerveza artesanal rubia a nivel semi-industrial a base de la unión de dos maltas para la Empresa Milenaria	Tesis/ Ingeniería	-Cardenas Paula -Gualdron Froilan	2019

Realizado por: Paula Camila Córdova Tapia y Romy Sebastián Romero Valle, 2021.

2.3. Cerveza

Según la Norma INEN 2262 del Servicio Ecuatoriano de Normalización define que es una “bebida de bajo contenido alcohólico, resultado de un proceso de fermentación natural controlado, por medio de levadura proveniente de un cultivo puro, en un mosto elaborado con agua de características fisicoquímicas y bacteriológicas apropiadas, cebada malteada sola o mezclada con adjuntos, con adición de lúpulo y/o sus derivados” (INEN, 2013).

Como otra decisión se tiene que es una bebida generada por la fermentación alcohólica mediante el uso de una levadura seleccionada, además de un mosto transformable en azúcares por digestión

enzimática, al cual se le agrega lúpulo y/o derivados y se somete a un proceso de cocción. (IICA, 1999, p.47)

2.3.1. Tipos de cerveza

La clasificación según el tipo de levadura se tiene:

2.3.1.1. Cerveza de fermentación baja

También conocidas como cerveza Lager que proviene del alemán que significa “para almacenar”, es decir, las cervezas de fermentación baja se llevan a cabo mediante un almacenamiento en bodegas posterior a la fermentación y maduración. las cepas usadas son *Saccharomycesuvarum*. Existen variedades de cervezas Lager como la Munich, Pilsener y Dortmund. Se debe tener en consideración que en mundo la cerveza tipo Pilsen representa el 70-80% de la producción (Okafor y Iwouno, 1990, p.13-14).

Munich: Es una cerveza que tiene cuerpo, aromática y oscura, su grado alcohólico varía entre 2 a 5%, el agua usada para este tipo de cerveza para el escaldado contiene una alta cantidad de carbonatos, pero baja en otros iones.

Cerveza Dortmund: A diferencia de otras variaciones de cerveza como la Pilsen, esta es pálida, y con un contenido menor de lúpulo por lo que lo hace menos amarga, pero tienen mayor aroma y cuerpo. Su grado de contenido alcohólico es de 3 a 3,8% y tiene un almacenamiento de 3 a 4 meses, en esta el agua para la realización de su escaldado es dura, es decir, contiene grandes cantidades de cloruros, sulfatos y carbonatos.

Cerveza Pilsen: Esta cerveza cuenta con un sabor medio amargo y con una coloración pálida, al igual que la Munich cuenta un grado de alcohol de 3 a 3,8%. En las cervecerías industriales se almacena en un tiempo de dos semanas, cuando su tiempo de almacenado artesanalmente de 2 a 3 meses, el agua para para su escaldado contiene pequeñas cantidades de iones como magnesio y calcio, por lo que le hace suave (Okafor y Iwouno, 1990, p. 56).

2.3.1.2. Cerveza de fermentación alta

A diferencia de la fermentación baja esta se realiza mediante la aplicación de sepas *Saccharomycescerevisiae*, las cervezas se fermentación alta son:

Stout: Contiene un fuerte aroma de malta, al igual que cuerpo, debido a que su producción proviene a partir de la malta caramelizada u oscura, su contenido alcohólico es alto de 5 a 6.5%.

Porter: Es una cerveza de cuerpo pesado, de coloración marrón oscuro debido a su producción a partir de maltas oscuras, con menor cantidad de lúpulo y por ende más dulce, su contenido alcohólico es de 5%.

Ale: Posee un alto contenido alcohólico desde 2,5 hasta un 9%, su nombre es originario de Inglaterra, es decir, Ale significa pálido, tiene un sabor ácido fuerte por lo tanto tiene un sabor amargo, tiene un olor característico similar al vino (Galarza Vera, 2018, p.13).

Tabla 2-2: Características de una cerveza tipo Ale de calidad

Característica	Parámetro
Alcohol (% v/v)	2,5 – 9
pH final	3 - 4,8
Densidad (g/mL) a 20°C	0,998-1,018
Sabor a lúpulo	Media – Alta
Aroma de lúpulo	Bajo - Medio
Color	Muy pálido – Pálido
Vida útil (meses)	6
Menor costo de producción	Mayor costo de producción

Fuente: (Rodríguez Cruz 2015).

2.3.2. Formas de producción de Cerveza

Se distinguen 3 tipos de producción de cerveza como se muestra a continuación:

Cerveza artesanal: Su producción es pequeña, es decir en pequeñas escalas, siendo así su volumen máximo de solo unos cientos de hectolitros al año. Además, como su nombre lo indica todo su proceso es artesanal.

Microcervecerías: Su producción se realiza aplicando métodos tanto artesanales como industriales, por lo que su volumen anual es de miles de hectolitros.

Cervecería industrial: El proceso se lleva a cabo de manera industrial, es decir a gran escala por lo que su rango de volumen a producir de cerveza es millones de hectolitros (Soria, 2017, p. 12).

2.3.3. Cerveza artesanal

Es considerada con esta denominación cuando es realizada por artesanos, es decir la mayor parte de los procesos son manuales y algunos con maquinaria adecuada, donde la aportación de la sapiencia del artesano en el proceso de elaboración de la cerveza es una parte primordial. Además, para que sea considerada artesanal en ninguna parte del proceso se debe añadir algún tipo de

aditivo artificial, cada cerveza tiene sus ingredientes y su tiempo de elaboración, por lo cual realizar este tipo de cerveza da paso a distintas alternativas de olores, sabores y colores (Soria 2017).



Figura 1-2: Cerveza artesanal
Fuente: (Calapucha Licuy, 2019, p.12).

2.3.3.1. Diagrama del proceso de producción de cerveza artesanal

La cerveza artesanal debe ser realizada por cuatro materias primas básicas como son la cebada, la levadura, agua y lúpulo.

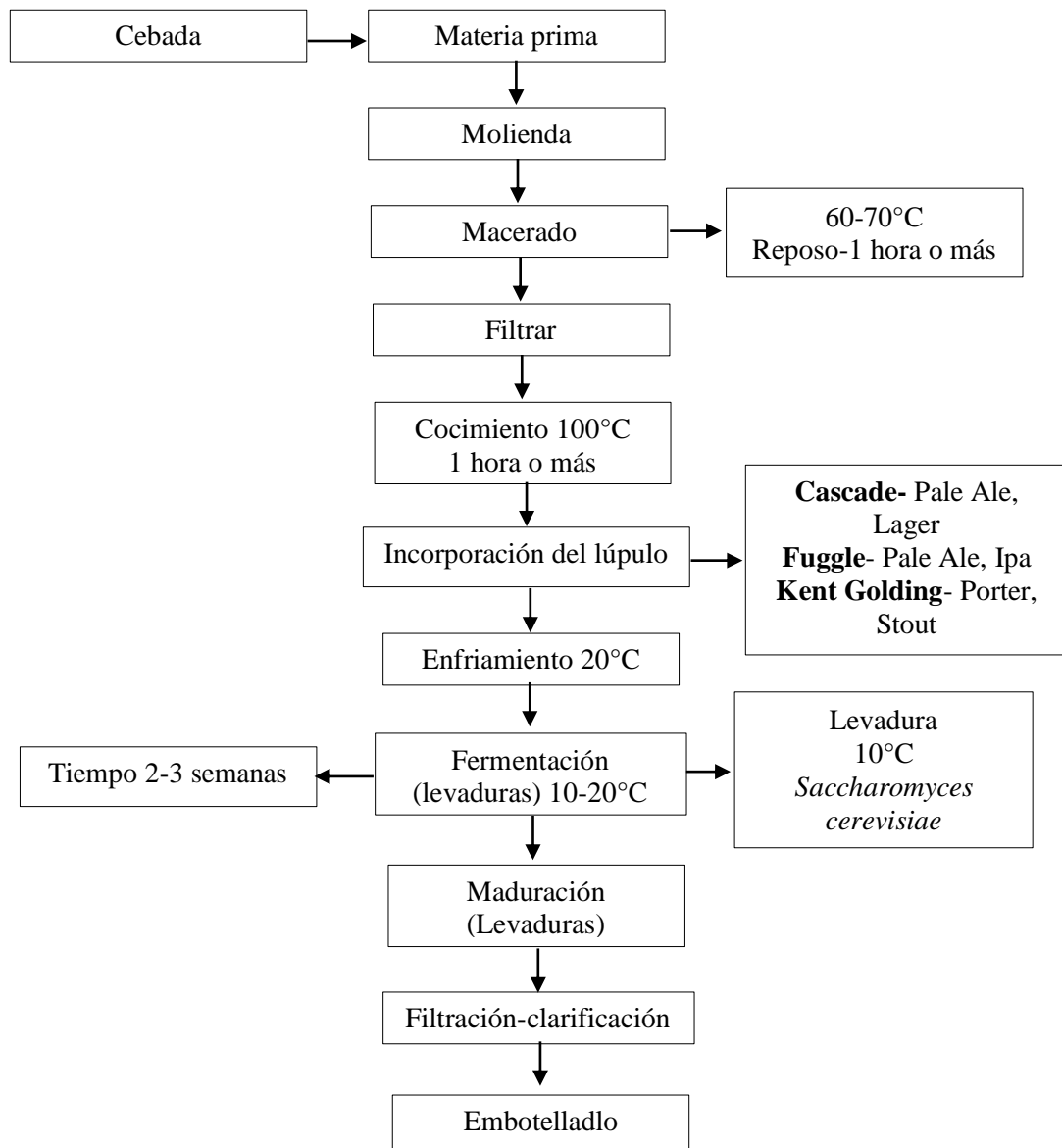


Figura 2-2: Cerveza artesanal
Fuente: (Chiquito Cárdenas y Hermenejildo Avendaño, 2018, p.24).

2.3.3.2. Factores que afecta la calidad de la cerveza artesanal

Existen factores que afectan la calidad de la cerveza artesanal, disminuyendo así la calidad organoléptica y fisicoquímica, por lo que se debe tener en consideración los siguientes factores:

Temperatura: La conservación de la cerveza se debe realizar a temperaturas bajas para su conservación, por lo cual es necesario un lugar adecuado donde no exista la interferencia solar y por ende de temperatura, sobre todo en verano.

Sol: Para evitar a este enemigo de la cerveza se usa botellas de color oscuro, por lo que es necesario mantener la cerveza en un lugar sombrío.

Tiempo: Con el tiempo la cerveza se va oxidando, por lo que aparece olores y sabores no deseados.

Limpieza: Siendo la levadura un microorganismo por lo que no es visible a simple vista, pero se debe mantener una adecuada limpieza debido a que puede existir la aparición de bacterias que posteriormente se manifestará con mal olor, sabor y turbidez.

Olores: Ciertos olores fuertes afectan el sabor de la cerveza, tales como por ejemplo la nafta, la cebolla, detergentes, pescado, entre otros (Alburquerque et al., 2018: pp.34-36).

2.3.3.3. Características de la cerveza artesanal

La cerveza artesanal a diferencia de una cerveza industrial es que en su composición no debe contener aditivo químico, además de contener características más atractivas como color, textura y color.

La espuma: Depende de las proteínas que al final contienen en suspensión la cerveza, así como la cantidad de gas carbónico producido, generando una espuma estable, otro factor para tener espuma en la cerveza es la cantidad de iones presentes en el agua.

Brillo y transparencia: Se debe tener en cuenta la turbidez de la bebida por lo cual se debe tener un cuidado minucioso durante el proceso de filtrado, además se debe tener en consideración que no debe existir fisuras en el sellado o la desgasificación causantes del daño del brillo y la transparencia, así como la sobreexposición a la luz solar.

Amargor y aroma: El lúpulo brinda estas características especiales a la cerveza, en el mercado existe diferentes tipos de lúpulos, algunos solo aportan aroma, otro tipo el amargor, pero también existe variedades que aportan las dos características. El amargor es medido en °IBU (Chiquito Cárdenas y Hermenejildo Avendaño, 2018, p.45).

La Asociación Internacional de Cerveceros mencionan que los índices de amargor propios de la cerveza Ale son los que mencionan a continuación.

- ✓ 15-20 °IBU Cream Ale
- ✓ 15-28 °IBU Bronde Ale
- ✓ 17-28 °IBU Irish Red Ale
- ✓ 20-35 °IBU American Pale Ale
- ✓ 20-40 °IBU American Brown Ale
- ✓ 20-30 °IBU Belgian Pale Ale
- ✓ 20-35 °IBU Belgian Golden Strong Ale
- ✓ 30-60 °IBU Old Ale (Rodríguez Cruz 2015).

Color: Varios son los componentes para que se dé la coloración de la cerveza como pirolisis, melanoidinas y los productos de caramelización, siendo la fuente principal para el color las melanoidinas que brindan una coloración que va desde amarillo a ámbar, que se generan durante el tiempo térmico de malteado debido a la reacción de pardeamiento no enzimático (reacciones de Maillard) (Briones Cedeño & Alonzo Mendoza, 2016, p.18).

Cuerpo: La base obtener un buen cuerpo de la cerveza es la cantidad de mosto, es decir mientras más mosto contiene mayor será el cuerpo, debido a contenido residual de extracto y al contenido alcohólico.

pH: Las cervezas solamente realizadas con malta constituyen como las que tienen mayor pH a diferencia de las que son elaboradas con adjuntos, ahora bien, el pH de la cerveza fluctúa entre 3-4,8. El pH también depende del tratamiento inicial en el proceso de maceración según el agua usada.

2.3.3.4. Diferencias entre cervezas industriales y artesanales

Tabla 3-2: Diferencias entre la cerveza industrial y artesanal

Cerveza industrial	Cerveza artesanal
Adición de otros cereales	Materias primas de calidad
Poco lúpulo	Fermentación más lenta
Fermentación más rígida	Filtrado natural
Filtrado químico	Sin aditivos químicos
Gas carbónico añadido	Gas generado naturalmente
Contiene aditivos químicos	Propiedades organolépticas cuidadas

Fuente: (Acosta Suárez y Acurio Garay, 2015, p.35).

2.3.3.5. *Materia prima para la elaboración de la cerveza artesanal*

- **Cebada**

La cebada (*Hordeum vulgare*), su nombre proviene del latín cibata, esta planta pertenece a la familia de las gramíneas. Existen dos tipos de cebadas, la que se usa como alimento para animales y que se usa exclusivamente para la producción de cerveza, por la que se le conoce como cebada cervecera (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.43).

Es rico en almidón por lo cual se hace óptimo para el uso en la cerveza, a pesar que se usan otros cereales como el trigo, además de poseer suficientes proteínas que logren proporcionar alimento necesario para el crecimiento de la levadura, Por otro lado, al contener sustancias nitrogenadas favorece a la producción de espuma en la cerveza.



Figura 3-2: Cebada

Fuente: (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.14).

Las cebadas cerveceras como materia prima deben contar con algunas características bioquímicas y físicas para lograr obtener una cerveza de calidad. Es así que entre las propiedades físicas el grano debe contar con una forma uniforme y el grano debe ser entero, para que cuando se realice la molienda aporte un filtro formado por la cascarilla reteniendo las partículas más pequeñas y obtener un mosto clarificado. Mientras que una de las propiedades bioquímicas más importante es que el grano germine con una absorción uniforme de agua, cuyo objetivo es tener el mayor volumen de malta a partir de la cantidad de cebada implementada (Soria, 2017, p.42).

- **Cebada malteada**

Aunque son varios los granos de cereal que pueden ser satisfactoriamente malteados, la cebada es la que presenta menor cantidad de problemas técnicos, pero con el pasar de los años se ha ido catalogando como el favorito en la elaboración de cerveza, debido que proporciona aroma y la formación de espuma por las sustancias nitrogenadas, además de ser más rica en almidón lo que

permite que se forme el extracto fermentable. También contiene proteínas suficientes para proporcionar aminoácidos que generen el crecimiento de la levadura (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.42).

- **Maltas básicas**

Con anterioridad en el Ecuador se sembraba cebada cervecera, pero en la actualidad las grandes industrias cerveceras han optado por la importación de la malta procesada, ya que económicamente es más económico y de mejor calidad (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.43). Este tipo de malta contiene un gran contenido de almidón insoluble, que posteriormente se deben transformar en azúcares fermentables, ya que en el proceso de fermentación pasaran a ser alimento de las levaduras, dando como producto alcohol y gas.

Existen 3 tipos de maltas bases:

- ✓ Grano germinado-secado a baja temperatura= Malta Pilsen

Este tipo de malta es la más usada al momento de realizar la producción de cerveza, debido a su sabor suave y de color más claro, obteniendo como resultado la cerveza rubia o doradas.

- ✓ Grano germinado-secado a mediana temperatura=Malta Munich

- ✓ Grano germinado-Secado a la alta temperatura=Malta Vienna

Tanto la malta Munich como la Vienna tiene como resultado una cerveza de color rojo claro, por ende, de tonos más oscuros, mientras que su sabor más intenso a malta.

- **Maltas especiales**

Este tipo de maltas aportan olores, sabores y colores especiales, por lo cual se tiene una alta gama de tipos de cervezas en la producción artesanal. Por ejemplo, al secar el grano se obtiene la malta básica, pero si se deja más tiempo en el horno se tiene una malta tostada también denominada Malta Caramelo la cual se usa para acentuar el sabor a malta y darle más color a la cerveza rubia. Mientras más se tuesta el grano más oscuro es la malta, por lo que existen diferentes grados de Maltas Caramelo, de 30, 50 y 80, que indican el grado de tostado al que ha sido sometido (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.15).



Figura 4-2: Coloración de la malta a diferentes temperaturas de secado
Fuente: (Ferreira, 2014, p.34).

- **Lúpulo**

Según la norma INEN 2262 se tiene que el lúpulo es un producto natural obtenido de la planta *Humulus lupulus*, responsable del amargor y de parte del aroma de la cerveza, esta puede estar en forma vegetal o en forma de extracto (INEN 2013).



Figura 5-2: Hoja de lúpulo y en pellets
Fuente: (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade 2010)

Esta planta trepadora es una especie perteneciente a la familia de la *cannabiaceas*, puede ser femenino o masculino, pero para ser considerada como parte de la materia prima para la elaboración de la cerveza es femenina, está encargada de brindar el aroma, amargor y sabor de la bebida, dependiendo el lúpulo que está en contacto con el mosto en ebullición

Tiene una forma de piñas o conos, en el interior de ellas contiene glándulas llenas de resina llamada lupulina (gránulos que se encuentran en la flor) de color dorado, mismo que contienen diferentes componentes como el ácido alfa o humulonaque (son una mezcla de homólogos como son la pre-humulona, Humulona, Posthumulona y Adhumulona) es el encargado de brindar el sabor amargo a la cerveza, además de contribuir con su conservación.

Ahora bien, si en la antigüedad se usaban directamente las hojas de lúpulo en la elaboración de la cerveza, hoy en día existe en el mercado pellets que son cilindros de 1cm de longitud y 4mm de ancho, conformados de hojas molidas y deshidratadas de lúpulo.

A continuación, se presenta la composición química del lúpulo:

Tabla 4-2: Composición química del lúpulo

Componentes químicos	Porcentaje
Materias nitrogenadas	17,5
Materias no nitrogenadas	27,5
Celulosa bruta	13,3
Aceites esenciales	0,4
Taninos	3,0
Extracto de éter (Resinas)	1,3
Agua	1,5
Cenizas	7,5

Fuente: (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.34).

El lúpulo en la elaboración de cerveza

Si bien es cierto que en la actualidad forma parte fundamental en la elaboración de la cerveza, no está claro si en la antigüedad esta formaba parte de la cerveza a pesar de que su origen silvestre se conoció en la antigüedad. Lo que se tiene claro es que aporte en la elaboración de cerveza es que le proporciona aroma, el amargor, además de la formación de espuma.

Según los expertos los categorizan en aromáticos y amargos. Por lo cual en el mercado existe gran diversidad en contenidos de alfa amilases que es el encargado de dar el característico amargos a la cerveza como la Columbus, Nugget y Magnum. Mientras que el cascade y perle son los lúpulos encargados de brindar el aroma aportando además un sabor más refinado.

Como se mencionó anteriormente el lúpulo cumple con ciertas funciones importantes en la producción de cerveza como conservación, sabor, amargor y aroma.

Conservación: Actúa como bactericida, por lo que aporta mayor tiempo de vida a la cerveza, evitando su descomposición por bacterias.

Sabor: Existen variedades de lúpulos que solo se usan para brindar sabor a la cerveza, ya que son muy pobres en aroma y amargor.

Amargor: Brinda un mayor o menor amargor a la cerveza según la cerveza que se quiera producir se añade la cantidad de lúpulo.

Aroma: Existen lúpulos que solo se usan para dar aroma, debido a que contienen una baja concentración de sabor y amargo.

- **Levadura**

Son hongos microscópicos con los cuales se da el proceso de fermentación, la cual tiene como resultado la formación de CO₂ y alcohol, producto del desdoblamiento de los azúcares procedentes de la malta en ausencia de O₂ (Garduño García et al., 2014, pp: 34-35).



Figura 6-2: Levadura Nottingham
Fuente: (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade 2010)

Las levaduras existentes para la elaboración de cerveza artesanal en el mercado son de son tipos, la primera la Ale que tiene una temperatura de fermentación de 14-25°C, el resultante de esta es una cerveza con notas frutales y buen cuerpo, además que los residuos tienden a salir en la superficie. Mientras que la segunda son la Lager las cuales sus residuos posteriormente a la fermentación se asientan en el fondo del tanque, a comparación de las Ale se fermentan a temperaturas bajas entre 6 a 10°C (Soria, 2017, p.24).

En el caso de la cerveza artesanal se produce dos fermentaciones, la primera denominada Spartkling que se lleva a cabo en el fermentador donde se obtiene cierta cantidad de alcohol (3% aproximadamente) y la segunda que se produce cuando ya se realizado el embotellado de la cerveza, por presencia de azúcar extra haciendo que se produzca más gas y alcohol. La levadura se puede recuperar posterior a la fermentación y se puede emplear durante varias producciones, las levaduras que se usan se pueden clasificar como perteneciente a una de las dos especies del género *saccharomyces*:

- *Saccharomyces uvarum o carlsbergensis* (fermentación baja)
- *Saccharomyces cerevisiae* (fermentación alta)

Tabla 5-2: Diferencias entre tipos de levadura

Tipo de levadura	Tipo de fermentación	Tipo de cerveza	Temperatura de fermentación	Descripción
Saccharomyces Cerevisiae	Alta fermentación	Ales	Fermenta más fácilmente a temperaturas altas (15-25°C)	Se encuentra en la naturaleza, en la boca de los mamíferos y en tallos de los cereales. Al final de la fermentación la levadura sube a la superficie del tanque.
Saccharomyces Carlsbergensis	Baja fermentación	Lager	Fermenta a temperaturas bajas (5-15°C)	La levadura queda en el fondo del tanque posteriormente de la fermentación. Fue descubierta en Alemania ya que los cerveceros lo realizaban en las cuevas de los Alpes.

Fuente:(Martínez Hernández, 2008, p.34).

- **Agua**

El agua considerada debe contar con características adecuadas para que constituyen el 95% del contenido de la cerveza y por lo cual es un ingrediente fundamental para que una cerveza artesanal tenga éxito, es así que el agua para el uso en la industria cervecera debe ser dura, debido a que si se usa agua exenta de sales se puede llegar a corroer las tuberías.

El sodio y el potasio brinda un sabor salado y el cloruro resalta el dulzor de la malta, para la producción de cerveza tipo Pilsen el agua debe contener bajas cantidades de calcio o también denominada blanda. Al contrario, las aguas duras se usan para la realización de cervezas oscuras. Pero generalmente para la elaboración de cervezas se usa aguas medianamente duras sobre todo si son ricas en contenido de calcio y sulfato que son ideales para la producción de cerveza tipo Ale, ya que producen un pH más ácido, que ayuda a que la acción enzimática se potencie.

Tabla 6-2: Composición del agua para fabricar cerveza

Componentes	Cerveza fuerte (g/hL)	Cerveza ligera (g/hL)
Dureza total	14,8	1,57
Dureza no carbonatada	0,6	0,3
Dureza de carbonatos	14,2	1,27
CaO	10,6	0,98
MgO	3	0,12
Sulfatos	0,75	0,43
CO₂	11,15	1
Nitratos	Trazas	Trazas
Cloruros	0,16	0,5

Fuente: (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.35).

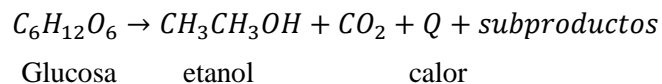
2.3.3.6. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso biológico en ausencia de aire (anaeróbico) por la actividad de microorganismos que procesan los hidratos de carbono que produce alcohol (etanol), además de grandes cantidades de CO₂, y energía (ATP) responsable del metabolismo celular energético de las levaduras y bacterias anaeróbicas. (Carvajal Martínez y Insuasti Andrade, 2010, p.36)

Si se tiene en consideración el origen etimológico de la palabra fermentar se tiene que proviene del latín “fervere” que significa hervir. Lo que nos da a entender que esta denominación se tiene desprendimiento de calor por la reacción generada pasando de un líquido donde predominan los azúcares a uno donde predomina el etanol. Planteado como el proceso donde la glucosa pasa a transformarse en alcohol con ciertas cualidades sensoriales (Sabor y olor).

1. Etapa aeróbica: En primera instancia que dura pocas horas la levadura se adapta al ambiente del fermentador para permitir la absorción de azúcares del mosto, así como el oxígeno que contiene, haciendo que las células de la levadura inicien una etapa aeróbica donde se reproducen y se multipliquen al tomar el azúcar del mosto, esta etapa finaliza en el instante que se consuma todo el oxígeno presente.

2. Etapa anaeróbica: Etapa donde realiza la fermentación propiamente dicha. Ya que el 99% de la fermentación es anaerobia y solo el 1% aerobia. Como se puede ver a continuación, se tiene la reacción química que se genera, obteniendo desprendimiento de calor por lo que es necesario un sistema de enfriamiento para controlar la temperatura.



Para tener una idea de la reacción de tiene que 1Kg de glucosa produce alrededor de 500 a 520g de alcohol y de 480g a 500g de dióxido de carbono.

3. Etapa de enfriamiento: La fermentación termina una vez que se haya consumido los azúcares presentes en el mosto. La temperatura disminuye con finalidad de incrementar la sedimentación de la levadura.

Según la cepa de levadura se tiene en consideración el proceso cervecero, ya que pueden tener diferentes tiempos de ocupación en el tanque fermentador, así como las características físico y químicos de la cerveza (BRIONES CEDEÑO y ALONZO MENDOZA, 2016, p.12).

A continuación, se muestra las reacciones químicas que se produce para la fermentación

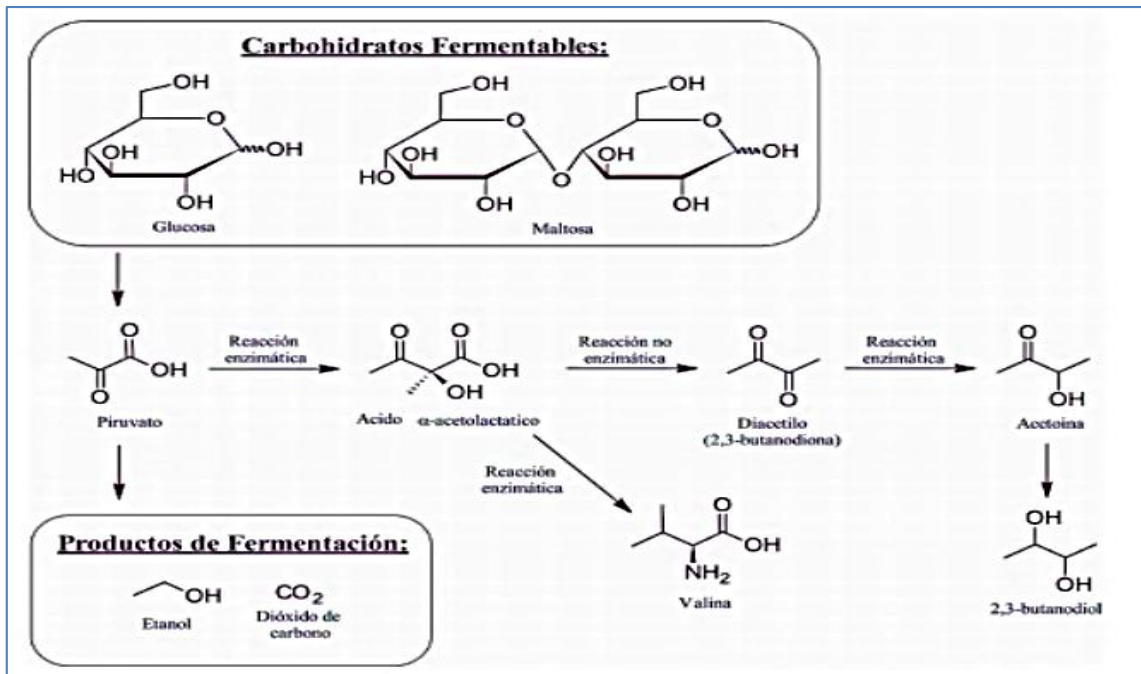


Figura 7-2: Reacciones químicas que se produce para la fermentación

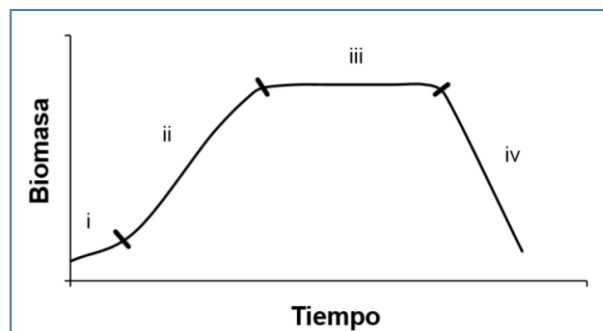
Fuente: (Morales-toyo, 2018, p.45).

2.4. Sistemas de fermentación

Los sistemas de fermentación en la industria pueden llegar a desarrollar por diferentes métodos además de ventajas y desventajas que se presentan a continuación.

2.4.1. Fermentación de lote

También se conoce como fermentación intermitente, discontinua o batch, Este tipo de fermentación se produce en fermentadores que trabajan como un sistema cerrado, que perciben cuatro fases típicas en el crecimiento de la levadura, misma que representa una curva del comportamiento de crecimiento.



Gráfica 1-2: Curva de crecimiento de la levadura

Fuente: (Martinez Hernández, 2008, p.23).

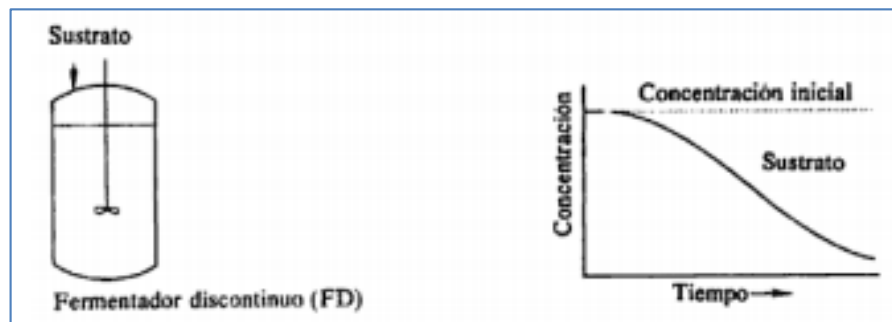
Fase lag (i): La levadura se adapta a las nuevas condiciones ambientales y nutricionales, En esta etapa no existe un aumento de células, ya que la energía se usa en sintetizar las enzimas para la adaptación del nuevo medio.

Fase logarítmica o exponencial (ii): Las células se multiplican de manera exponencial. De acuerdo a la unidad de tiempo con base en el número de células que se producen se puede realizar la velocidad de crecimiento de manera cuantificada. Esta fase termina cuando los nutrientes se acaban.

Fase estacionaria (iii): La velocidad de crecimiento es igual a la velocidad de muerte. La producción de etanol disminuye una vez que se haya obtenido el máximo de concentración de células.

Fase de muerte (iv): Las células se quedan sin alimento y tienden a morir, ya que no se puede multiplicar.

Una vez alcanzada las condiciones óptimas para la fermentación se detiene el proceso. En este tipo de tanques el tiempo puede ser muy largo y es imperioso que se agite el contenido para evitar la contaminación y desequilibrio de la temperatura. Además, cuentan con una configuración simple.



Gráfica 2-2: Configuración de un proceso de fermentación de lote
Fuente: (Rios Cáceres, 2013, p.12).

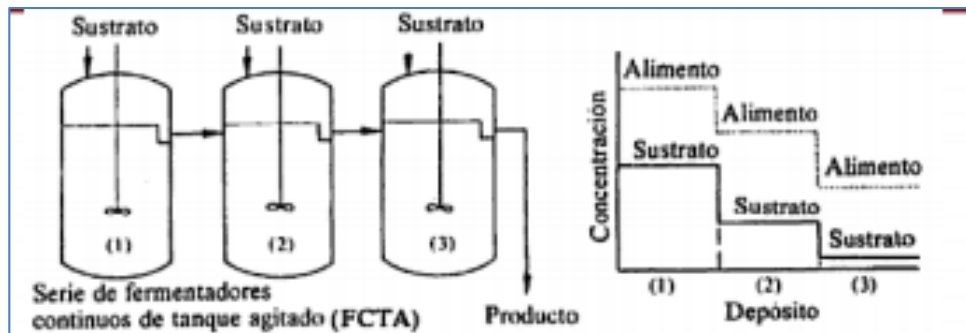
2.4.2. Fermentación de lote alimentado

Este tipo de fermentación es una mejora del tipo Batch, Las mezclas a fermentar se añaden al recipiente de forma escalonada a medida que la fermentación va progresando.

2.4.3. Fermentación continua

Trabajan como un sistema abierto, ingresa en este sistema de fermentación un flujo masico de la solución nutritiva estéril y también un flujo de masa de dicha solución utilizada con microorganismos que sale. Ambos flujos deberán ser lo mismo para asegurar que en el interior

del tanque la sustancia esté en condiciones uniformes y para que mantenga estabilidad. Este proceso es muy usado en la elaboración de cerveza y etanol.



Gráfica 3-2: Fermentadores continuos del tanque agitado en serie
Fuente: (Rios Cáceres, 2013, p.34).

2.4.4. Ventajas y desventajas de los sistemas de fermentación tipo lote y continuos

Tabla 7-2: Ventajas y desventajas de los sistemas de fermentación tipo lote y continuos

Descripción	Tipo lote	Tipo continuo
Control de la velocidad específica de crecimiento del microorganismo	X	
Crecimiento del microorganismo en condiciones óptimas	X	
Elimina la fase de latencia y como consecuencia disminuye el tiempo de producción del compuesto a obtener	X	
Aumenta la productividad a causa de eliminar el tiempo empleado en la limpieza y preparación del biorreactor	X	
Mantener las condiciones estériles por periodos prolongados		X
Dificultad en producción de mutaciones de la cepa original		X
Evitar la suspensión del proceso de fermentación debido a desestabilización a causa de fallas en los equipos.		X

Fuente: (Rios Cáceres, 2013, p.12).

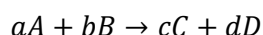
2.5. Velocidad de reacción

La importancia de la velocidad de reacción radica en conocer la rapidez con la que se produce una transformación química tanto desde el punto de vista del conocimiento del proceso como de su utilidad industrial.

La velocidad de una reacción se mide como la variación de reactantes o productos conforme pasa el tiempo, es decir, es una reacción química los reactivos desaparecen progresivamente en el transcurso de la reacción, mientras que los productos aparecen (Ramiro 2009).

La variación de reacción permite medir como varían las cantidades de reactivos y productos a lo largo del tiempo. Las unidades de la velocidad de reacción son $\frac{mol}{L \cdot s}$.

Para una reacción genérica expresada por



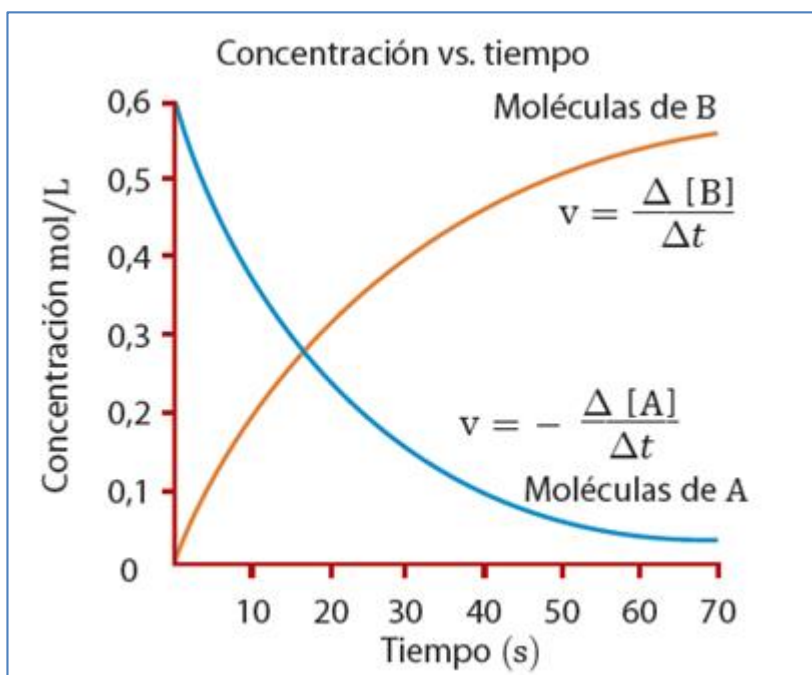
Se define la velocidad de reacción como:

$$V_a = \frac{-d[A]}{dt} \quad V_b = \frac{-d[B]}{dt}$$

Puesto que los reactivos desaparecen será negativa y por lo tanto la definición implica un valor positivo de la velocidad de reacción

Definida de esta manera y dado el ajuste de reacción se hace evidente que estas velocidades no son iguales, dado que dependen del coeficiente estequiométrico, pudiendo afirmarse

$$v = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt}$$



Gráfica 4-2: Velocidad de reacción

Fuente: (Ramiro, 2009, p.34).

2.6. Sistemas de agitación

Consiste en producir movimientos irregulares, turbulentos, en un fluido mediante la aplicación de dispositivos mecánicos y electromecánicos que actúen sobre el mismo. La agitación en la industria se usa para acelerar operaciones como el mezclado, transferencia de calorífica, extracción, absorción, decantación, entre otras (Neyra Navarro, Trigos Saavedra y Santa María Lomas, 2013, pp.23-25).

Existen varios objetivos en la agitación y algunos de ellos son:

- ✓ Mezcla de dos líquidos miscibles como por ejemplo el agua y el alcohol.
- ✓ Disolución de sólidos en líquido, por ejemplo, agua con azúcar.
- ✓ Dispersión de un gas en un líquido en forma de burbujas pequeñas, como por ejemplo la liberación de oxígeno en una suspensión de microorganismos para la fermentación o para un proceso de activación de lodos en el tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Suspensión de sólidos finos en un líquido, tal como en la hidrogenación catalítica de un líquido.

2.6.1. Tipos de agitadores

De acuerdo a lo expresado por McCabe en el año de 1993, los agitadores se dividen en dos clases:

- ✓ Los que generan corrientes paralelas al eje impulsor denominados como impulsores de flujo axial.
- ✓ Los que generan corrientes en dirección radial tangencial que se denominan impulsores de flujo radial.

Son muy diversos, pero los más usados son rotatorios que consta de un sistema giratorio llamado rodete, que entra en movimiento impulsado por el eje exterior que a su vez se pueden clasificar en:

- ✓ **Muy revolucionados:** Que pueden ser de turbina, de paleta, de hélice, de disco y de cono.
- ✓ **Poco revolucionados:** Que pueden ser de anclas y de paletas.

Y los tres principales tipos de agitadores que se tiene son de turbina, hélice y de paleta, de los cuales a continuación se realiza una breve descripción:

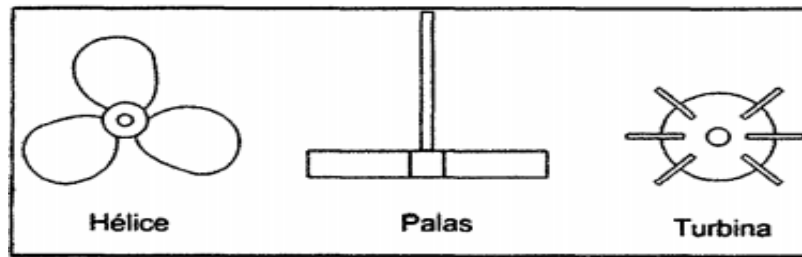


Figura 8-2: Figura Principales tipos de agitadores
Fuente: (McCabe, Smith, 1993).

2.6.1.1. Agitadores de hélices

El agitador de hélice se trata de un agitador de flujo axial que usualmente opera a velocidades elevadas y se emplea para líquidos menos viscosos. Su funcionamiento hace que las corrientes de flujo que parten del agitador se muevan a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. Por lo cual la columna de remolinos del líquido tiene una elevada turbulencia, haciendo que arrastre el movimiento al líquido estancado por lo que son eficaces en tanques de gran tamaño. En tanques de gran altura pueden llegar a tener dos o más hélices sobre el eje. Dichos ejes pueden o no tener el mismo sentido de agitación, ya que cuando son opuestos se crea una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos (Neyra Navarro, Trigos Saavedra y Santa María Lomas, 2013, p.24).

2.6.1.2. Agitadores de paletas

Este tipo de agitador da solución a problemas sencillos. Está formado por una paleta plana o helicoidal que gira sobre un eje vertical, la corriente se forma mediante la aplicación de dos o tres paletas. Las paletas pueden llegar a girar a bajas, altas o moderadas velocidades en el centro del tanque, brindando un impulso radial y tangencial al líquido. Las paletas también pueden ser adaptadas en el fondo del tanque de tal manera que en la superficie el movimiento en la parte superior del líquido es pequeña. Se usa para velocidades de 20 a 200rpm.

La longitud total del propulsor de paleras mide del 60 a 80% del diámetro del tanque y la anchura de la paleta es del 1/6 a 1/10 de su longitud. En recipientes sin reflectores se consigue una agitación suave. Mientras que los reflectores se usan cuando la velocidad de giro es más rápida, ya que sin ellos solo formarían un remolino que casi no se mezclan.

2.6.1.3. Agitadores de turbina

Son eficaces en un amplio intervalo de viscosidades, el líquido de poca viscosidad produce corrientes intensas que se extienden por todo el tanque, en la proximidad del rodete se genera una

zona de corrientes rápidas de alta turbulencia. Las corrientes principales son radiales y tangenciales.

2.7. Beneficiarios directos e indirectos

2.7.1. Beneficiarios Directos

El laboratorio de Procesos Industriales perteneciente a la Facultad de Ciencias de la ESPOCH será el beneficiario directo del proyecto dado que en el futuro contará con una línea de procesamiento para la elaboración de cerveza artesanal, cuto equipo que formara parte de esta línea es el fermentador mismo que servirá para fines educativos y productivos.

2.7.2. Beneficiarios Indirectos

Los estudiantes de la Facultad de Ciencias, ya que pueden realizar la experimentación y simulación de un proceso de fermentación de bebidas alcohólicas correspondientes a la cátedra que se encuentre cursando.

Los docentes, debido a que cuentan con una alternativa de aprendizaje aplicable y experimental de la cátedra impartida, y no sea solo de manera teórica.

Y por último los grupos de investigación, los mismos que pueden realizar estudios en el equipo de fermentación.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO METODOLÓGICO

3.1. Localización del Proyecto

El presente proyecto técnico será implementado en el laboratorio de Operaciones Industriales, mismo que pertenece a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la cual se encuentra ubicado específicamente en la Panamericana Sur km 1^{1/2}, en la ciudad de Riobamba – Ecuador.

Tabla 1-3 Localización geográfica del laboratorio de Procesos Industriales

Limites ESPOCH	-Al Norte, limita con el barrio 24 de Mayo y la Av. Canónigo Ramos. -Al sur, limita con la Av. Pedro Vicente Maldonado y el Barrio de los Maestros. -Al este, limita con la Av. 11 de Noviembre. -Al Oeste limita con la Av. By Pass
Longitud	-78,6333
Latitud	-1,75
Rango altitudinal	2720 m.s.n.m
Clima	Temperatura Promedio 12°C

Fuente: Instituto Nacional de Riego (INAR)

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

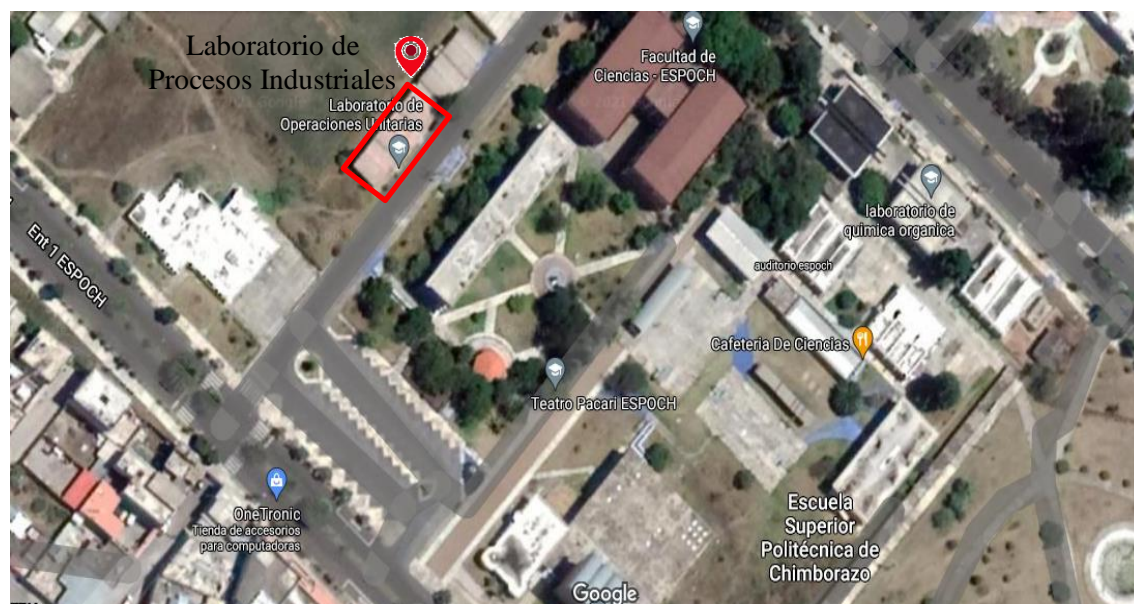


Figura 1-3: Localización del laboratorio de Procesos Industriales ESPOCH

Fuente: Google maps

3.2. Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación es de tipo Técnico que tiene como finalidad el diseño y construcción de un fermentador tipo Batch, este equipo es un complemento a la línea de un proceso semi-industrial para la producción de cerveza artesanal, además es una herramienta de estudio para los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Química que puedan profundizar temas en el área industrial. El equipo reposará en el Laboratorio de Procesos Industriales, su dimensionamiento y estudio se llevará a cabo con la aplicación de métodos investigativos tales como el deductivo, inductivo y experimental, para alcanzar los objetivos planteados.

3.3. Metodología

El proyecto se realizó tomando en cuenta la normativa ISO 9001:2015 “Sistemas de Gestión de Calidad” la cual menciona que, en base a los procesos establecidos para el diseño, fabricación, acabados, instalación, puesta en marcha debe cumplir con los requerimientos de calidad para el consumo humano. Es así que para el diseño del fermentador al ser un recipiente sujeto a presión se considera adoptar el código ASME. Dicho código está compuesto 12 secciones tanto para materiales, diseño, fabricación, partes para el relevo de la presión y certificación, especialmente se consideró la sección VIII División 1. Reglas para la construcción de recipientes a presión. Tal como se puede observar en el ANEXO 1.

Por otro lado, se considera los parámetros exigidos en la norma de INEN 2262:2013 correspondiente a la cerveza que aporte a la aceptabilidad de un producto final de calidad, adicionalmente se debe tener en cuenta sus características organolépticas propias de una cerveza artesanal. Es así que para llegar a cumplir con la obtención del producto a escala mayor escala se llevó en primer lugar una experimentación mediante pruebas de simulación, permitiendo de esta manera obtener las variables necesarias para el dimensionamiento del equipo (fermentador tipo Batch) y poder cumplir con el diseño ingenieril del proceso.

3.3.1. Métodos

3.3.1.1. Método Deductivo

Este método permite que mediante la obtención de información bibliográfica se logre establecer un punto de partida para el desarrollo del proyecto aplicando además ensayos experimentales de laboratorio, cuya finalidad realizar el dimensionamiento del tanque fermentador de cerveza artesanal, el cual tiene fundamentos en los principios de Operaciones Unitarias, Trasferencia de

Calor y Cálculos Básicos, mismos que son fundamentales para la realización de cálculos y determinar las variables del proceso. Además de generar una investigación adecuada que contengan herramientas, características y lineamientos que otorguen los conocimientos que permitan otorgar el desarrollo de las operaciones que conforman el proceso obtención y elaboración de la cerveza artesanal como producto final.

3.3.1.2. Método Inductivo

Se obtiene conclusiones o ideas generales a partir de indicios particulares, porque se plantea una serie de pasos para llegar a obtenerlo, tales como la observación, clasificación, estudio y constatación de los datos. Por lo que este método parte desde la adición de la materia prima, la simulación del equipo hasta obtener el producto final, incluyendo su análisis físico-químico y microbiológico de la cerveza artesanal obtenida el cual permite determinar la calidad del producto. Además, que con ello se tiene las condiciones de diseño de entrada y salida del equipo a dimensionar, es decir la alimentación del mosto, temperatura de fermentación, al igual que el tiempo y la presión la cual va estar sometida tal como menciona el código ASME, los cuales actúan como puntos de partida para llevar el dimensionamiento final del equipo fermentador tipo Batch.

3.3.1.3. Método Experimental

Mediante el uso de técnicas de laboratorio, materiales y/o equipos se logra obtener los parámetros a controlar, siendo el objetivo tener un equipo que cumpla con la expectativa deseada y que produzca un producto final de calidad e innovador.

3.3.2. Técnicas

Con finalidad de cumplir con los objetivos planteados en el proyecto y llegar a validar el equipo de fermentación Batch para la obtención de la cerveza artesanal se lleva a cabo la aplicación de técnicas experimentales para obtener datos que permitan diseñar el equipo, la misma que se basó en técnicas nacionales en la norma INEN 2262:2013, como se puede ver a continuación:

La determinación del alcohol en la cerveza es una parte fundamental, es así que arteramente se realiza mediante el cálculo de la densidad antes y después de la fermentación, otros aplican el hidrómetro, pero al ser un producto de obtención en laboratorio se lleva a cabo la siguiente determinación:

Tabla 2-3: Determinación de alcohol

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Determinación de alcohol	NTE INEN 2322	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Balón de destilación de 500cm³ de capacidad ✓ Trampa de arrastre que conecta el balón de destilación ✓ Condensador vertical ✓ Balón volumétrico de 100cm³ ✓ Pipeta volumétrica de 100cm³ ✓ Pipeta de trasferencia de 100cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pipetear 100cm³ de cerveza desgasificada a 20°C, colocar en el balón de destilación y añadir 50cm³. ✓ Conectar el balón al equipo de destilación y disponer de un balón volumétrico de 100 cm³ para recibir el destilado ✓ El balón empleado como recolector se rodea con hielo ✓ La temperatura del agua de refrigeración que sale por el condensador no debe ser superior a 25°C ✓ Destilar alrededor de 96cm³ a una velocidad uniforme y en un tiempo de 40 y 60 minutos ✓ Ajustar la temperatura a 20°C y completar el volumen con agua destilada ✓ Determinar la gravedad específica a 20°C 	<p>a) % en volumen $\% \text{ alcohol cerveza} = \% \text{ en volumen en el destilado}$</p> <p>b) % en masa $\% \text{ alcohol cerveza} = \frac{g \text{ de alcohol por } 100\text{cm}^3 \text{ destilado}}{\text{gravedad específica de la cerveza}}$</p>

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

La medición de grados Brix es una aplicación muy conocida en la industria de alimentos y bebidas, entre otras. Por lo cual la medición de grados Brix constituye la determinación de la cantidad de sólidos solubles en una bebida expresado en porcentaje de sacarosa, la cual se determina a continuación:

Tabla 3-3: Determinación de grados brix

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Grados brix	NTE INEN 380	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Refractómetro ✓ Vaso de precipitación de 50mL ✓ Embudo de buchner para filtración ✓ Muestra ✓ Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ajustar la circulación de agua del refractómetro para operar a la temperatura requerida ✓ Colocar 2 o 3 gotas de la muestra en el prisma fijo del refractómetro y ajustar inmediatamente el prisma móvil ✓ Leer el valor del índice de refracción o el porcentaje en masa de sacarosa, según el instrumento que se haya utilizado 	Lectura directa

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Es muy usada para determinar el nivel o contenido alcohólico en la cerveza, la cual se realiza con un densímetro, a diferencia de este método se aplica el procedimiento expuesto en la norma INEN como se puede observar a continuación en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Determinación de la densidad

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Densidad	NTE INEN 349	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Picnómetro ✓ Balanza analítica ✓ Termómetro ✓ Embudo ✓ Líquido problema ✓ Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lavar el picnómetro con agua corriente, y posteriormente con agua destilada, secarlo mediante una corriente de aire seco. ✓ Pesar el picnómetro limpio y seco con aproximación al 0,1mg ✓ Colocar la muestra en el picnómetro hasta la marca respectiva, evitando la formación de burbujas de aire y taparla. ✓ Posteriormente pesar el picnómetro vacío y con agua destilada. 	$d = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1}$ <p>Siendo: m_1: Masa del picnómetro vacío, g m_2: Masa del picnómetro con la muestra, g m_3: Masa del picnómetro con agua destilada, g</p>

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

El método más fácil de generar la carbonatación en la cerveza es la adición de azúcar fermentable, la cual genera la formación de CO₂, la cual aprovecha el resto de levadura que haya quedado de la fermentación principal, la cual debe cumplir una normativa que menciona el siguiente procedimiento para su determinación:

Tabla 5-3: Determinación de la carbonatación

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Carbonatación	NTE INEN 2324	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aparato de perforación con manómetro ✓ Bureta de absorción ✓ Botella de nivelación con capacidad de 300mL ✓ Balanza semianalítica ✓ Probeta graduada de 100 cm³ ✓ Termómetro ✓ Solución de NaOH al 15% m/v 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La determinación debe realizarse por duplicado ✓ Atemperar las muestras entre 20 y 25°C ✓ Llenar la botella de nivelación y luego la bureta de absorción con la solución de NaOH al 15% ✓ Cerrar la válvula del aparato perforador y perforar la tapa de la botella. ✓ Agitar la botella hasta que alcance un valor máximo constante, parar la agitación y anotar la lectura ✓ Cerrar la válvula y agitar la bureta hasta que se absorba el CO₂ y el volumen de gas en la bureta alcance un valor mínimo. ✓ Ajustar la botella de nivelación para igualar la presión hidrostática y leer el volumen de aire en la cámara vacía contenida en la bureta. 	Con los datos de presión y temperatura registrados se tiene el contenido de CO ₂ en la Tabla 1 de la norma INEN 2324

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Se determina por valoración potenciométrica y se expresa como porcentaje de ácido láctico, su determinación se muestra a continuación:

Tabla 6-3: Determinación de la acidez total

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Acidez total	NTE INEN 2323	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potenciómetro ✓ Vaso de precipitación de 50cm³ ✓ Agitador apropiado movido eléctricamente ✓ Bureta ✓ Pipeta de 50cm³ ✓ Termómetro ✓ Solución buffer ✓ NaOH 0,1N 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estandarizar el potenciómetro a un pH 7 con solución buffer ✓ Lavar los electrodos con agua destilada, hasta que quede libre de solución buffer ✓ Pipetear 50cm³ o alguna otra cantidad medida de cerveza desgasificada ✓ Introducir los electrodos de vidrio y calomel, y el agitador magnético dentro de la cerveza, empezar agitar y ajustar la temperatura a 20°C ✓ Titular la cerveza con NaOH 0,1N llevar a pH 8,2 añadiendo álcali en cantidades 1,5cm³ hasta un pH 7,6. Luego en incrementos más pequeños de 0,15 cm³ hasta que alcance exactamente un pH de 8,2. 	$Acidez\ total = \left(\frac{cm^3\ de\ NaOH\ 0,1N}{10} \right) \left(\frac{100}{cm^3\ cerveza\ x\ gravedad\ especifica} \right)$

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

El pH es un factor primordial en una cerveza, ya que a causa de esta se puede logra inhibir el crecimiento microbiano, su determinación se muestra a continuación:

Tabla 7-3: Determinación de pH

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
pH	NTE INEN 2325	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potenciómetro con electrodos de vidrio ✓ Vaso de precipitación de 250mL ✓ Agitador ✓ Termómetro ✓ Muestra ✓ Agua destilada ✓ Solución reguladora de pH 4 y 7 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro ✓ Colocar en el vaso de precipitación 100mL de la muestra de cerveza desgasificada y temperatura de ensayo. ✓ Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra. 	Leer de manera directa el resultado en el equipo

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

La cerveza artesanal como todo producto de consumo humano debe cumplir con estándares de calidad, por lo que debe cumplir con normativas y parámetros microbiológicos las cuales sus determinaciones se muestran a continuación en la Tabla 8-3 y 9-3.

Tabla 8-3 Determinación de microorganismos aerobios

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Microorganismos Aerobios	NTE INEN 1529-5	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incubadora ✓ Microscopio ✓ Refrigeradora ✓ Balanza ✓ Mechero ✓ Gradilla ✓ Tubos de ensayo ✓ Probetas ✓ Pipetas bacteriológicas ✓ Caja Petri ✓ Erlenmeyer 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubrir la siembra con una capa de vaselina líquida estéril de 1cm de espeso ✓ Incubar entre 30°C y 35°C por 24 a 72 horas <p>Recuento</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Elegir los tubos de dilución que contengan 30±10 colonias, cortarlas y calcular el número de UFC por gramo de alimento 	<p>N=n(f)</p> <p>N: Número de unidades formadoras (UFC) n: Media aritmética de las colonias contadas f: Factor de dilución (valor inverso de la dilución de la muestra)</p>

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Tabla 9-3: Determinación de mohos y levaduras

Parámetro	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Mohos y levaduras	NTE INEN 1529-10	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Placas Petri ✓ Pipetas serológicas de boca ancha de 15cm³ y 10cm³ graduadas en 1/10 unidad. ✓ Esparcidores ✓ Medios de cultivo (agar sal-levaduras de Davis o similar) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubrir la siembra con una capa de vaselina líquida estéril de 1cm de espeso ✓ Incubar entre 30°C y 35°C por 24 a 72 horas <p>Recuento</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Elegir los tubos de dilución que contengan 30±10 colonias, cortarlas y calcular el número de UFC por gramo de alimento 	$N = \frac{\#Total\ de\ colonias\ calculadas}{Cantidad\ total\ de\ muestra\ sembrada}$ $N = \frac{\sum C}{V(n_1 + n_2)}$ <p>∑ C: Suma de las colonias contadas en todas las placas elegida V: Volumen del inóculo sembrado en cada placa n₁: Número de placas contadas en la primera disolución seleccionada n₂: Número de placas contadas en la segunda disolución seleccionada</p>

Fuente: INEN

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

3.4. Experimentación

3.4.1. Equipos, materiales, materia prima y aditivos

A nivel de laboratorio se desarrollaron varios experimentos para obtener un diseño del proceso, los mismos que se basan en bibliografía. Para las distintas pruebas se utilizó múltiples materiales, equipos y reactivos que se mencionan a continuación.

Tabla 10-3: Materiales, equipos y reactivos

MATERIALES	EQUIPOS	MATERIA PRIMA E INSUMOS
<ul style="list-style-type: none"> -Vasos de precipitación (250ml) -Densímetro -Probeta de 500ml -Termómetro -Alcoholímetro -Balanza analítica -Potenciómetro -Colador -Airlock -Cepillo plástico para limpiar botellas 	<ul style="list-style-type: none"> -Molino -Cooler -Sparkling de 20L (fermentador) -Corchadora -Reverbero 	<ul style="list-style-type: none"> -Cebada -Lúpulo -Azúcar -Levadura cervecera -Agua -Clarificante

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

3.4.1.1. Conceptualización de la materia prima usadas durante la experimentación a nivel laboratorio

Tabla 11-3: Materia prima

Materia prima	Concepto
Cebada Malteada Pale Ale	Es una cerveza típica de las Ale siendo una de las más usadas en el mundo, se parece mucho a la Pilsner, siendo su principal diferencia el tiempo de horneado brindando a la cerveza un sabor cercano al pan, además aporta al mosto gran cantidad de azúcares fermentables. Puede combinarse con otras maltas
Cebada malteada Caramelo	Se usa en pequeñas cantidades y en combinación de una malta base, ya que cuenta con una baja actividad enzimática y a su sabor amargo e intenso.
Lúpulo Hallertauer	Este tipo de lúpulo es de una variedad especiada y las más usadas en cervezas alemanas, se usa para brindar aroma y amargos a las cervezas Ale y Lagers
Lúpulo East Kent Golding	Aporta a la cerveza un aroma a lavanda, especias y miel con notas de tomillo. Su sabor es algo terroso y suavemente amargo con carácter dulce y sedoso. Por lo que es reconocido como una variedad premium
Clarificante	Otorga estabilidad a la cerveza, eliminando impurezas al sedimentar las partículas presentes en el mosto.
Levadura SafAle	Otorga una fermentación sólida y rápida con buenas propiedades de sedimentación

Agua	Debe contar con buenas características para que no interfieran con el crecimiento de microorganismo y con el pH.
-------------	--

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

3.4.2. Esquema experimental para la elaboración de la cerveza artesanal en el laboratorio

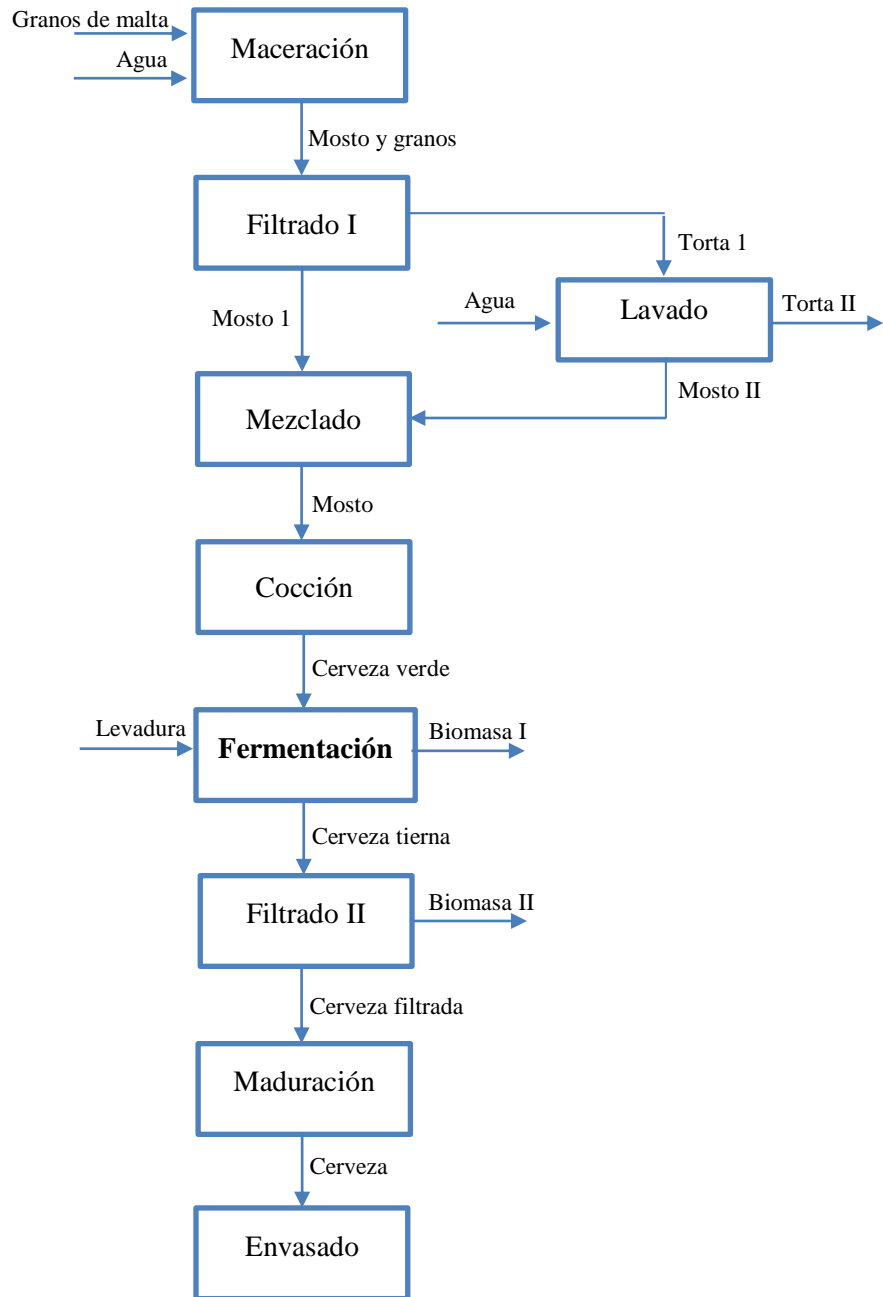


Figura 2-3: Diagrama de flujo para la elaboración de la cerveza artesanal

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

3.4.2.1. Descripción del procedimiento a nivel de laboratorio

- ✓ Moler los granos de fermentables, lo más grueso posible.

- ✓ La maceración se realizó con 2,5 litros de agua por cada kg de grano, teniendo en cuenta que este proceso se trata de una extracción sólido-líquido al tratarse de bebidas o alimentos de consumo, la cual se colocó en una olla y se la llevó hasta una temperatura de 75°C, ya que la temperatura inicia el proceso enzimático con el objetivo de extraer compuestos solubles presentes en el grano de malta, especialmente azúcares fermentables. Se agregó la malta molida, se remueve y se verifica que la temperatura no haya bajado de 65°C. Se deja macerar por 90 minutos.



Figura 3-3: Maceración

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Se realiza el primer filtrado del producto de la maceración separando el extracto de la parte sólida, cuya finalidad es poder realizar un lavado de la torta obtenida que aun contiene compuestos solubles, para lo cual se prepara 2,5 litros de agua a 70°C por cada Kg para lavar el grano cuando termine la maceración, la cual se realiza retirando el mosto y volverlo añadir en el cooler, esto se realiza un par de veces.



Figura 4-3: Filtrado

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

El mosto obtenido se le lleva a cocción mediante un hervor suave con finalidad de eliminar microorganismos que puedan existir en el extracto, además de detener el proceso enzimático que se inició en el macerado, se añade el lúpulo que añade sabor y aroma al producto en elaboración, manteniendo los tiempos adecuados para el tipo de cerveza que se desea producir.



Figura 5-3: Mosto

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Se deja enfriar el mosto hasta 25°C para transferir el mosto al tanque de fermentación. En este punto se toma una muestra para medir la densidad inicial con el hidrómetro, si está muy alta se debe añadir agua hervida a 35°C hasta cumplir con la densidad inicial, se tiene estas bajas temperaturas, ya que la levadura no se puede inocular a más de 35°C.

La fermentación es la etapa más importante y que toma mayor tiempo. Se añade la levadura directamente al mosto y se mezcla lentamente. Se coloca la tapa del fermentador y llenar el airlock con una mezcla de agua y alcohol industrial, se debe procurar que quede completamente sellado para que exista alguna contaminación. La fermentación empieza en 24 horas, y dentro de 2 a 6 días el burbujeo producido por la liberación de CO₂ se reduce hasta que ya no exista burbujeo, medir la densidad final.



Figura 6-3: Fermentación

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Se realiza una segunda filtración para separar la biomasa producida por la levadura. Posteriormente se tiene la etapa de maduración que es la segunda fermentación donde las levaduras remanentes proveen el anhídrido carbónico característico, al igual que aumentar el contenido alcohólico, además en esta etapa es clarificado. Esta operación se la puede realizar directamente en el envase final.



Figura 7-3: Envasado

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Se debe tener todos los equipos e insumos sanitizados, se añade 8g de azúcar blanca/morena o dextrosa por litro a la botella y añadir la cerveza desde el fermentador, se sella la botella con la tapa y se agita levemente.

3.4.3. Variables del proceso de fermentación

Tabla 12-3: Variables del proceso

Variables dependientes	
Concentración de etanol	Se refiere a la concentración de alcohol posterior a la fermentación, siendo determinante frente a diferentes rangos establecidos en el proceso
pH	El pH es una condición constante de medir, representa una relación directa con la temperatura y el crecimiento microbiano.
Concentración final de microorganismos	Luego de la inoculación del medio de cultivo se hace complicado predecir el crecimiento microbiano, es una variable que no se puede controlar directamente.
Grados brix	Esta variable se refiere a la concentración de azúcares reductores del proceso de fermentación.
Variables independientes	
Tiempo de fermentación	Se determinan diferentes para ser directamente involucrados frente al resultado de la variable respuesta controlando el proceso de fermentación.
Cepas seleccionadas	Las cepas o levaduras seleccionadas son las que consumen los azúcares presentes en el mosto, lo que indica la producción de etanol en la fermentación.
pH inicial	Con relación directa con la temperatura. Se evidencia un rango óptimo en el inicio de la fermentación generando un mejor rendimiento que influye en el producto final.
Temperatura	Para determinar el estilo de cerveza debe existir un rango adecuado que permita el proceso de fermentación, ya que si no se encuentra dentro del rango correctamente se puede presentar una inhibición o muerte del microorganismo.

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

3.5. Cálculos de ingeniería

3.5.1. Balance de masa y energía del fermentador

3.5.1.1. Balance de masa del fermentador

- **Masa del mosto**

$$m_{mosto} = \rho_{mosto} * v_{mosto}$$

Donde

v_{mosto} : Volumen del mosto; 60 Litros; $0,06m^3$

ρ_{mosto} : Densidad del mosto: $1052 \frac{Kg}{m^3}$

$$m_{mosto} = 1052 \frac{Kg}{m^3} * 0,06m^3$$

$$m_{mosto} = 63,12Kg$$

- **Masa de la levadura**

La adición de la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) se realiza según la especificación descrita por la marca productora del mismo, que dice que por cada 20 litros se adiciona 11,5g.

$$m_{levadura} = \frac{11,5g * v_{mosto}}{20L}$$

Donde:

$m_{levadura}$: Masa de levadura

v_{mosto} : Volumen del mosto; 60 litros

$$m_{levadura} = \frac{11,5g * 60 L}{20L}$$

$$m_{levadura} = 34,5g * \frac{Kg}{1000g}$$

$$m_{levadura} = 0,0345Kg$$

- **Masa de la cerveza**

El volumen de cerveza obtenida posterior de la fermentación en el equipo es de 58,8 litros, para obtener su masa se tiene:

$$m_{cerveza} = \rho_{cerveza} * v_{cerveza}$$

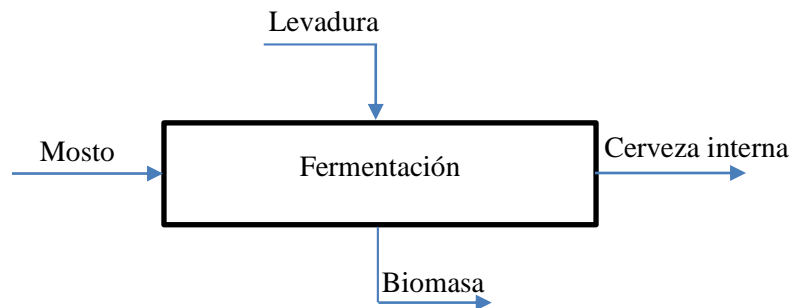
Donde

$v_{cerveza}$: Volumen del mosto; 58,8 Litros; $0,0588m^3$

$\rho_{cerveza}$: Densidad del mosto: $1012\frac{Kg}{m^3}$

$$m_{cerveza} = 1012\frac{Kg}{m^3} * 0,0588m^3$$

$$m_{cerveza} = 59,51Kg$$



$$E = S$$

$$m_{mosto} + m_{levadura} = m_{Biomasa} + m_{cerveza}$$

$$m_{Biomasa} = m_{mosto} + m_{levadura} - m_{cerveza}$$

$$m_{Biomasa} = 63,12Kg + 0,0345Kg - 59,51Kg$$

$$m_{Biomasa} = 3,65Kg$$

3.5.1.2. Balance de energía en la etapa de fermentación

- **Calor ganado por el ambiente**

$$Q_{ganado} = Q_{perdido}$$

$$Q_{ambiente} = Q_{Rx} + Q_{pared}$$

Datos:

$Q_{ambiente}$: Calor ganado por el ambiente

Q_{Rx} : Calor desprendido por la reacción de fermentación:

Q_{pared} ; Calor perdido por las paredes:

- **Calor generado durante la fermentación**

La levadura en contacto con los azúcares aportados por la cebada da paso a la aparición del alcohol etílico, liberando energía en forma de calor que aumenta la temperatura del recipiente o fermentador.

$$\dot{Q}_{gf} = \dot{Q}_f + \dot{Q}_{CO_2} + \dot{Q}_{H_2O}$$

Donde:

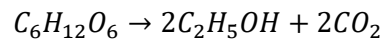
\dot{Q}_{gf} : Flujo de calor generado en la fermentación

\dot{Q}_f : Flujo de calor generado en la fermentación de la solución final

\dot{Q}_{CO_2} : Flujo de calor absorbido por CO_2 generado

\dot{Q}_{H_2O} : Flujo de calor absorbido por vapor de H_2O generado

A continuación, se muestra la reacción química que se produce en la fermentación:



$$Q = \Delta H_{rx}^\circ$$

$$\Delta H_{rx}^\circ = \sum \Delta H_{productos}^\circ - \sum \Delta H_{reactivos}^\circ$$

Para calcular el calor generado por la reacción se tiene las entalpías de los compuestos que forman parte de la reacción.

$$\Delta H_{glucosa}^\circ: -1274,4 \frac{KJ}{mol}$$

$$\Delta H_{CO_2}^\circ: -393,5 \frac{KJ}{mol}$$

$$\Delta H_{etanol}^\circ: -276,98 \frac{KJ}{mol}$$

$$\Delta H_{fructosa}^\circ: -1276,32 \frac{KJ}{mol}$$

- **Entalpia de reacción para la glucosa**

$$\Delta H_{rx}^\circ = \left[2 \left(-276,98 \frac{KJ}{mol} \right) + 2 \left(-393,5 \frac{KJ}{mol} \right) \right] - \left(-1274,4 \frac{KJ}{mol} \right)$$

$$\Delta H_{rx}^\circ = -66,56 \frac{KJ}{mol}$$

- **Calor generado por Kg de glucosa fermentada**

$$Q_{rx.glucosa} = -66,56 \frac{KJ}{mol} * \frac{1mol}{0,18Kg}$$

$$Q_{rx.glucosa} = -369,78 \frac{KJ}{Kg}$$

- **Entalpia de reacción para la fructosa**

$$\Delta H_{rx}^{\circ} = \left[2 \left(-276,98 \frac{KJ}{mol} \right) + 2 \left(-393,5 \frac{KJ}{mol} \right) \right] - \left(-1275,32 \frac{KJ}{mol} \right)$$

$$\Delta H_{rx}^{\circ} = -65,64 \frac{KJ}{mol}$$

- **Calor generado por Kg de fructosa fermentada**

$$Q_{rx.fluctosa} = -65,64 \frac{KJ}{mol} * \frac{1mol}{0,18Kg}$$

$$Q_{rx.fructosa} = -364,67 \frac{KJ}{Kg}$$

- **Cantidad de la glucosa contenida en la solución final a fermentar**

Se debe estimar la cantidad de glucosa y fructosa contenida en la cerveza posterior a la fermentación, dado que la solución final tiene 6,5°Brix su contenido de sacarosa y la masa producida es 59,51Kg.

$$^{\circ}Brix = \frac{Kg \text{ sacarosa cerveza}}{0,1L \text{ solución}}$$

$$m_{sacarosa} = m_{cerveza} * ^{\circ}Brix$$

$$m_{sacarosa} = m_{cerveza} * \frac{Kg \text{ sacarosa cerveza}}{100Kg \text{ solución}}$$

$$m_{sacarosa} = 59,51Kg * \frac{6,5Kg \text{ sacarosa}}{100Kg \text{ solución}}$$

$$m_{sacarosa} = 3,87Kg \text{ sacarosa}$$

La sacarosa en un medio ácido se hidroliza para dar una mezcla equimolar de glucosa y fructosa.

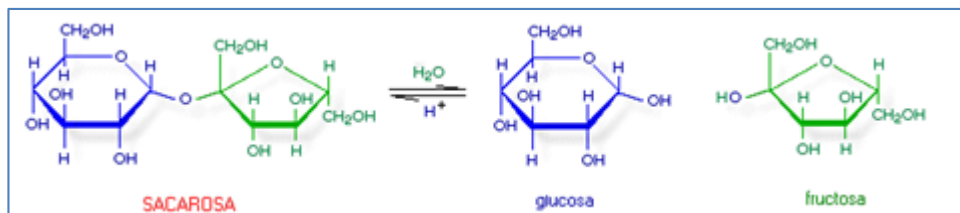


Figura 8-3: Reacción de la sacarosa

Por lo tanto, de los 3,87Kg sacarosa se tiene que 1,93Kg es el contenido másico para la glucosa como para la fructosa.

$$Q_{rx.glucosa} = -369,78 \frac{KJ}{Kg} * 1,93Kg$$

$$Q_{rx.glucosa} = -713,68KJ$$

Entonces, teniendo en cuenta la reacción de la sacarosa, para la fructosa se tiene:

$$Q_{rx.fructosa} = -364,67 \frac{KJ}{Kg} * 1,93Kg$$

$$Q_{rx.fructosa} = -703,81KJ$$

El calor total que libera en la fermentación de la solución final correspondiente por el consumo de los azúcares:

$$Q_f = Q_{rx.glucosa} + Q_{rx.fructosa}$$

$$Q_f = -713,68KJ + (-703,81KJ)$$

$$Q_f = -1417,49KJ$$

Entonces, si la fermentación del mosto se lleva a cabo en 9 días (216) de residencia en el tanque el flujo de calor será:

$$\dot{Q}_f = \frac{-1417,49KJ}{216h}$$

$$\dot{Q}_f = 6,56 \frac{KJ}{h}$$

- **Absorción de calor por desprendimiento de CO₂**

Además, en la reacción se genera CO₂, haciendo que el calor se pierda, ya que se escapa en forma de gas.

$$\dot{Q}_{CO_2} = \frac{V_{cerveza} * B * T_f}{9\theta}$$

Donde:

\dot{Q}_{CO_2} : Flujo de calor absorbido por CO₂

$V_{cerveza}$: Volumen de la cerveza: 58,8L

B : Riqueza de azúcares en la cerveza: $0,065 \frac{Kg}{L}$

T_f : Temperatura de fermentación: 22°C

θ : Duración de la fermentación: 216h

$$\dot{Q}_{CO_2} = \frac{58,8L * 0,065 \frac{Kg}{L} * 22^\circ C}{9(216h)}$$

$$\dot{Q}_{CO_2} = 0,043 \frac{Kcal}{h}$$

$$\dot{Q}_{CO_2} = 0,18 \frac{KJ}{h}$$

- **Absorción de calor por desprendimiento de agua**

$$\dot{Q}_{H_2O} = \frac{V_{cerveza} * B * P_v(580 + 0,43T_f)}{3695\theta}$$

Donde:

\dot{Q}_{H_2O} : Flujo de calor absorbido por H₂O

$V_{cerveza}$: Volumen de la cerveza: 58,8L

$^{\circ}B$: Riqueza de azúcares en la solución final: $0,065 \frac{Kg}{L}$

T_f : Temperatura de fermentación: 22°C

θ : Duración de la fermentación: 216h

P_v : Presión del agua saturada (líquido-vapor) a 22°C: 20,037mmHg (valor obtenido en el libro de Termodinámica de Cengel)

$$\dot{Q}_{H_2O} = \frac{58,8L * 0,065 \frac{Kg}{L} * 20,037mmHg * (580 + 0,43(22^\circ C))}{3695(216h)}$$

$$\dot{Q}_{H_2O} = 0,056 \frac{Kcal}{h}$$

$$\dot{Q}_{H_2O} = 0,23 \frac{KJ}{h}$$

Por lo tanto, el calor de la reacción es:

$$\dot{Q}_{gf} = \dot{Q}_f + \dot{Q}_{CO_2} + \dot{Q}_{H_2O}$$

$$\dot{Q}_{gf} = 6,56 \frac{KJ}{h} + 0,18 \frac{KJ}{h} + 0,23 \frac{KJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{gf} = 6,97 \frac{KJ}{h}$$

3.5.2. Dimensionamiento del fermentador tipo Batch

El dispositivo será vertical, donde la cabeza tendrá forma elipsoidal y el fondo con una forma cónica, mismo que tendrá un ángulo de 60°. El tanque contará con un volumen de 60 Litros, siendo adecuado dejar un 15% libre por la formación de espuma.

$$V_f = V_{mosto} + 15\% \text{ volumen libre para espuma}$$

Donde:

V_f : Volumen de diseño

V_{mosto} : Volumen del mosto: 60L

$$V_f = 60L + 9L$$

$$V_f = 69L$$

$$V_f = 0,069m^3$$



Figura 9-3: Tanque fermentador

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021

La cabeza del fermentador es de tipo K2 según el Código Español de recipientes y aparatos a presión, que según menciona para el tipo K2 la altura de los casquetes es un cuarto de diámetro ($H=d/4$), mientras que la cola, es decir, la parte inferior tendrá una forma cónica que tendrá un ángulo de 60° en su vértice.

Siendo así se tiene que el volumen de la parte superior, es decir, el volumen de un elipsoide está dado por:

$$V_{elip} = \frac{4}{3} \pi(a)(b)(c)$$

Donde:

V_{elip} : Volumen del elipsoide

(a)(b)(c): Son longitudes de los semiejes del elipsoide respecto a los ejes x, y, z.

Si se tiene en consideración, que el fermentador es cuerpo de forma cilíndrica se tiene que:

$$a = b = \frac{d}{2} \text{ y } c = h_{Elips} = \frac{d}{4}$$

El volumen que se desea obtener es la mitad del volumen del elipsoide, por lo cual queda:

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{2} V_{elipsoidal}$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen las longitudes se tiene:

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{2} * \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2}\right) \left(\frac{d}{2}\right) \left(\frac{d}{4}\right)$$

$$V_{elipsoidal} = \frac{1}{24} * \pi * d^3$$

$$V_{elipsoidal} = 0,131 * d^3$$

El volumen de la parte inferior del fermentador, es decir, de la parte cónica se tiene mediante la ecuación del cono:

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi * r^2 * h_{cono}$$

Donde:

r : Radio del cono

h_{cono} : Altura del cono

Al ser un cono recto y mediante uso de funciones trigonométricas podemos expresar, h_{cono} , como:

$$r = \frac{d}{2} \text{ y } h_{cono} = \frac{r}{\tan(\alpha)}$$

Además de tener en consideración que el ángulo es $\alpha = \frac{60^\circ}{2} = 30^\circ$, sustituyendo se tiene:

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \frac{\frac{d}{2}}{\tan(\alpha)}$$

$$V_{cono} = \frac{1}{3} \pi * \frac{d^2}{4} * \frac{d}{2 \tan(\alpha)}$$

$$V_{cono} = \frac{d^3}{24} * \frac{\pi}{\tan(30)}$$

$$V_{cono} = 0,2267 * d^3$$

Y, por último, se tiene la parte media, o la forma cilíndrica para lo cual se tiene el volumen de:

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h_{cilindro}$$

Donde:

r : Radio del cilindro

h_{cono} : Altura del cilindro

Al observar la figura se tiene que:

$$r = \frac{d}{2} \text{ y } h_{cilindro} = L - h_{elip} - h_{cono}$$

$$h_{cilindro} = \frac{7}{3}d - \frac{d}{4} - \frac{d}{2\tan(\alpha)}$$

Sustituyendo en la ecuación del volumen del cilindro se tiene

$$V_{cilindro} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \left(\frac{7}{3}d - \frac{d}{4} - \frac{d}{2\tan(\alpha)}\right)$$

$$V_{cilindro} = \pi \frac{d^2}{4} * d \left(\frac{7(4\tan(\alpha)) - 3\tan(\alpha) - 6}{12\tan(\alpha)}\right)$$

$$V_{cilindro} = \pi \frac{d^3}{4} * \left(\frac{25\tan(30) - 6}{12\tan(30)}\right)$$

$$V_{cilindro} = \pi \frac{d^3}{4} * (1,22)$$

$$V_{cilindro} = 0,96d^3$$

- **Cálculo del volumen total**

$$V_{total} = V_{cilindro} + V_{cono} + V_{elip}$$

Sustituyendo cada uno de los volúmenes se tiene que el volumen total es:

$$V_{total} = \pi \frac{d^3}{4} * (1,22) + \frac{1}{24} * \pi * d^3 + \frac{d^3}{24} * \frac{\pi}{\tan(\alpha)}$$

$$V_{total} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \left(1,22d^3 + \frac{d^3}{6} + \frac{d^3}{6\tan(30)}\right)$$

$$V_{total} = \left(\frac{\pi}{4}\right) d^3 \left(1,22 + \frac{1}{6} + \frac{1}{6 \tan(30)}\right)$$

$$V_{total} = \left(\frac{\pi}{4}\right) d^3 \left(1,22 + \frac{1}{6} + \frac{1}{6 \tan(30)}\right)$$

Despejando el diámetro nos queda:

$$d^3 = \frac{V_{total}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) (1,67)}$$

Donde:

d : Diámetro del tanque fermentador o del cilindro

V_{total} ; Volumen total del tanque

$$d^3 = \frac{V_{total}}{1,31}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,069m^3}{1,31}}$$

$$d = 0,37m$$

Reemplazando en las ecuaciones de altura de cada parte del con fermentador se tiene

- **Altura del elipsoidal**

$$h_{Elips} = \frac{d}{4}$$

Donde:

h_{Elips} : Altura del elipsoidal

d : Diámetro del fermentador: 0,37m

$$h_{Elips} = \frac{0,37m}{4}$$

$$h_{Elips} = 0,093$$

- **Altura del cono**

$$h_{cono} = \frac{d}{2 \tan(\alpha)}$$

Donde:

h_{cono} : Altura del cono

d : Diámetro del fermentador: 0,37m

α : Ángulo de inclinación del cono: 30°

$$h_{cono} = \frac{0,37m}{2 \tan(30)}$$

$$h_{cono} = 0,32m$$

- **Altura del cilindro**

$$h_{cilindro} = \frac{7}{3}d - \frac{d}{4} - \frac{d}{2\tan(\alpha)}$$

Donde:

h_{cono} : Altura del cilindro

d : Diámetro del fermentador: 0,37m

α : Ángulo de inclinación del cono: 30°

$$h_{cilindro} = \frac{7}{3}(0,37m) - \frac{0,37m}{4} - \frac{0,37}{2\tan(30)}$$

$$h_{cilindro} = 0,863m - 0,093m - 0,32m$$

$$h_{cilindro} = 0,45m$$

- **Cálculo de los espesores del acero inoxidable**

El cálculo de los espesores para el tanque se realiza mediante el Código de diseño A.S.M.E (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS). Para la realización de los cálculos se debe tener en cuenta que todas las variables deben ir referidas a las dimensiones interiores.

Por lo cual, es necesario que se tenga en consideración los cálculos de los espesores de todas las zonas implicadas en el tanque, para dichos cálculos las fórmulas se realizan mediante el manual de recipientes a presión, como se puede ver en el ANEXO 1

Zona cilíndrica:

$$t = \frac{PR}{(SE - 0,6 * P)} + C.A$$

Zona elipsoidal

$$t = \frac{PD}{(2SE - 0,2P)} + C.A$$

Zona cónica

$$t = \frac{P * D}{(2\cos(\alpha))(SE - 0,6P)} + C.A$$

Donde:

t : Espesor de la pared (plg)

P : Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida $\left(\frac{lb}{plg^2}\right)$

S : Valor de esfuerzo del material (ver en el Anexo 2, Tabla para el cálculo de valores máximos esfuerzos permitidos)

E : Eficacia de la junta (Anexo 3. Tabla para determinación de la eficiencia de la soldadura en función del tipo de junta)

R : Radio interior (plg)

D : Diámetro interior (plg)

$C. A$: Margen de corrosión (plg), normalmente 0,125plg

Todas las variables son conocidas, ya sea mediante el uso de tablas y otras mediante cálculos ya realizados, a excepción de la presión de diseño (P). La cual se calcula a partir de la presión de operación que se requiere en el proceso del que forma parte el recipiente, a la cual normalmente trabaja es:

La presión del proceso está regida por el tipo de cerveza que se va a elaborar y el contenido de CO_2 disuelta en la misma. Según la cerveza cotejados la mayor concentración de CO_2 se establece en las cervezas Ale y Lagers que tienen un valor de 2,2 y 2,8 de volumen disuelto de CO_2 .

Partiendo de la concentración más alta de CO_2 en disolución que podemos encontrar sabiendo la temperatura máxima de trabajo, que una vez finalizada la fermentación contará con una temperatura de $16^\circ C$ ($61^\circ F$), se tiene una presión de proceso de $29PSI=1,97atm$ como se puede observar en el Anexo 4. (Massa y Giudici 2015)

Por lo tanto, la presión del proceso es de $1,97atm$ en estos tanques, más la presión debida a la columna de líquido, tal como se puede ver a continuación:

$$P_{Operación} = P_{Proceso} + P_{Líquido} = P_{Proceso} + \rho * H$$

Donde:

$P_{Operación}$: Presión de operación

$P_{Proceso}$: Presión del proceso: $1,97atm$

ρ : Densidad; $1,012g/ml$

H : Altura del líquido

Los depósitos son verticales y tienen una altura (H) a nivel de líquido:

$$H = h_{líquido\ total} = h_{cono} + h_{cilindro}$$

$$V_{líquido\ total} = 60litros = 0,06m^3$$

$$V_{cono} = \left(\frac{\pi}{24}\right) \left(\frac{d^3}{\tan(\alpha)}\right)$$

$$h_{cono} = \frac{d}{2 \tan(\alpha)}$$

Sustituyendo $d=0,37m$

$$V_{cono} = \left(\frac{\pi}{24}\right) \left(\frac{(0,37m)^3}{\tan(30)}\right)$$

$$V_{cono} = 0,011m^3$$

$$h_{cono} = \frac{(0,37m)}{2 \tan(30)}$$

$$h_{cono} = 0,32m$$

Por tanto:

$$V_{Liquido cilindro} = V_{Total del liquido} - V_{cono}$$

$$V_{Liquido cilindro} = 0,06m^3 - 0,011m^3$$

$$V_{Liquido cilindro} = 0,049m^3$$

Y conociendo

$$V_{Liquido cilindro} = \pi \left(\frac{d^2}{4}\right) h_{liquido cilindro}$$

$$h_{liquido cilindro} = \frac{V_{Liquido cilindro}}{\pi \left(\frac{d^2}{4}\right)}$$

$$h_{liquido cilindro} = \frac{0,049m^3}{\pi \left(\frac{(0,37m)^2}{4}\right)}$$

$$h_{liquido cilindro} = 0,45m$$

Sustituyendo

$$H = h_{liquido total} = 0,32m + 0,45m$$

$$H = h_{liquido total} = 0,77m$$

Para la obtención de la presión del líquido se tiene en consideración la densidad de la cerveza como la densidad del agua a 4°C ($\rho = 1 \frac{g}{cm^3}$), teniendo la sobrepresión de la columna de líquido es:

$$P_{Liquido} = \rho * H$$

$$P_{Liquido} = \left(1,012 \frac{g}{cm^3} * \frac{(2,54)^2 cm^2}{1 plg^2} * \frac{lb}{454g}\right) * \left(0,77m * \frac{100cm}{1m}\right)$$

$$P_{Liquido} = \left(0,014 \frac{lb}{cm \cdot plg^2}\right) * (77cm)$$

$$P_{Liquido} = 1,078 \frac{lb}{plg^2}$$

La presión creada por el CO2 es de 1,97atm por lo que siendo la conversión se tiene:

$$P_{Proceso} = 1,97atm * \frac{14,70 \frac{lb}{plg^2}}{1atm}$$

$$P_{Proceso} = 29 \frac{lb}{plg^2}$$

Por consiguiente, la presión de la operación es:

$$P_{Operación} = P_{Proceso} + P_{Liquido}$$

$$P_{Operación} = 29 \frac{lb}{plg^2} + 1,078 \frac{lb}{plg^2}$$

$$P_{Operación} = 30,078 \frac{lb}{plg^2}$$

La presión de diseño es la presión que se emplea para diseñar el tanque fermentador. Pero al ser un tanque que soporta una presión se coloca un porcentaje de seguridad. Según menciona en el manual de recipientes a presión “Este requisito se satisface utilizando una presión de diseño de $30 \frac{lb}{pulg^2}$ o un 10% más que la presión de operación, la que sea mayor de las dos”

$$P_{diseño} = P_{Operación} + 10\%(P_{Operación})$$

$$P_{diseño} = 30,078 \frac{lb}{plg^2} + 10\% \left(30,078 \frac{lb}{plg^2} \right)$$

$$P_{diseño} = 33,09 \frac{lb}{plg^2}$$

El tanque se diseñará de acero inoxidable 304, que según la ASME viene dado con el código SA-240 como se puede observar en el Anexo 2. Y el tipo juntas soldadas es de eficiencia “E” examinas por zonas como se puede observar en el Anexo 3. Obteniendo el valor de 8,5%.

$$E = 0,85$$

Según el Anexo 3 que es la Tabla de las propiedades de los materiales de acero inoxidable para las temperaturas (-20 a 100°F) el valor máximo de esfuerzo permitido es:

$$S = 18800 \frac{lb}{plg^2}$$

Aplicando las fórmulas para el cálculo de espesor se tiene

✓ **Zona cilíndrica:**

$$t = \frac{PR}{(SE - 0,6 * P)} + C.A$$

Donde:

t : Espesor de la pared (plg)

P : Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida $\left(\frac{lb}{plg^2}\right)$; $33,09 \frac{lb}{plg^2}$

S : Valor de esfuerzo del material (ver en el Anexo 2, Tabla para el cálculo de valores máximos esfuerzos permitidos); $18800 \frac{lb}{plg^2}$

E : Eficacia de la junta (Anexo 3. Tabla para determinación de la eficiencia de la soldadura en función del tipo de junta); 0,85

R : Radio interior (plg); 0,185m; 7,28plg

$C.A$: Margen de corrosión (plg), normalmente 0,125plg

$$t = \frac{\left(33,09 \frac{lb}{plg^2}\right) (7,28plg)}{\left(18800 \frac{lb}{plg^2}\right) 0,85 - 0,6 * 33,09 \frac{lb}{plg^2}} + 0,125plg$$

$$t = \frac{240,89 \frac{lb}{plg}}{15960,146 \frac{lb}{plg^2}} + 0,125plg$$

$$t = 0,015plg + 0,125plg$$

$$t = 0,14plg$$

$$t = 0,14plg * \frac{25,40mm}{1plg}$$

$$t = 3,5mm$$

✓ **Zona elipsoidal**

$$t = \frac{PD}{(2SE - 0,2P)} + C.A$$

Donde:

t : Espesor de la pared (plg)

P : Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida $\left(\frac{lb}{plg^2}\right)$; $33,09 \frac{lb}{plg^2}$

S : Valor de esfuerzo del material (ver en el Anexo 2, Tabla para el cálculo de valores máximos esfuerzos permitidos); $18800 \frac{lb}{plg^2}$

E : Eficacia de la junta (Anexo 3. Tabla para determinación de la eficiencia de la soldadura en función del tipo de junta); 0,85

D : Diámetro interior (plg): 14,56plg

$C.A$: Margen de corrosión (plg), normalmente 0,125plg

$$t = \frac{\left(33,09 \frac{lb}{plg^2}\right) (14,56plg)}{2 \left(18800 \frac{lb}{plg^2}\right) 0,85 - 0,2 \left(33,09 \frac{lb}{plg^2}\right)} + 0,125plg$$

$$t = \frac{481,79 \frac{lb}{plg}}{31960 \frac{lb}{plg^2} - 6,618 \frac{lb}{plg^2}} + 0,125plg$$

$$t = \frac{481,79 \frac{lb}{plg}}{31953,38 \frac{lb}{plg^2}} + 0,125plg$$

$$t = 0,015plg + 0,125plg$$

$$t = 0,14plg$$

$$t = 0,14plg * \frac{25,40mm}{1plg}$$

$$t = 3,5mm$$

✓ Zona cónica

$$t = \frac{P * D}{(2\cos(\alpha))(SE - 0,6P)} + C.A$$

Donde:

t : Espesor de la pared (plg)

P : Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida $\left(\frac{lb}{pulg^2}\right)$; $33,09 \frac{lb}{plg^2}$

S : Valor de esfuerzo del material (ver en el Anexo 2, Tabla para el cálculo de valores máximos esfuerzos permitidos); $18800 \frac{lb}{plg^2}$

E : Eficacia de la junta (Anexo 3. Tabla para determinación de la eficiencia de la soldadura en función del tipo de junta); 0,85

D : Diámetro interior (plg): 14,56plg

$C.A$: Margen de corrosión (plg), normalmente 0,125plg

$$t = \frac{\left(33,09 \frac{lb}{plg^2}\right) (14,56plg)}{2 \cos(30) \left[\left(18800 \frac{lb}{plg^2} * 0,85\right) - 0,6 \left(33,09 \frac{lb}{plg^2}\right)\right]} + 0,125plg$$

$$t = \frac{481,79 \frac{lb}{pulg}}{(1,73) \left(15980 \frac{lb}{plg^2} - 19,854 \frac{lb}{plg^2}\right)} + 0,125plg$$

$$t = \frac{481,79 \frac{lb}{plg}}{27611,05 \frac{lb}{plg^2}} + 0,125plg$$

$$t = 0,017plg + 0,125plg$$

$$t = 0,14plg$$

$$t = 0,14plg * \frac{25,40mm}{1plg}$$

$$t = 3,5mm$$

Tras comparar entre las tres zonas el espesor mínimo de 3,5mm para soportar la presión de operación y trabajar de manera segura.

- **Diámetro externo del tanque fermentador**

$$\phi_E = d + t$$

Dando:

ϕ_E : Diámetro externo del tanque fermentador

d : Diámetro interno del tanque fermentador: 0,37m

t : Espesor de la pared; 3,5mm; 0,0035m

$$\phi_E = 0,37m + 0,0035m$$

$$\phi_E = 0,3735m$$

- **Diámetro del recubrimiento de acero del tanque fermentador**

$$\phi_R = \frac{1}{10}d$$

Donde:

ϕ_R : Diámetro del recubrimiento de acero del tanque fermentador

d : Diámetro interno del tanque fermentador: 0,37m

$$\phi_R = \frac{1}{10}(0,37m)$$

$$\phi_R = \frac{1}{10}(0,37m)$$

$$\phi_R = 0,037m$$

- **Cálculo del espesor del aislante para las paredes del tanque**

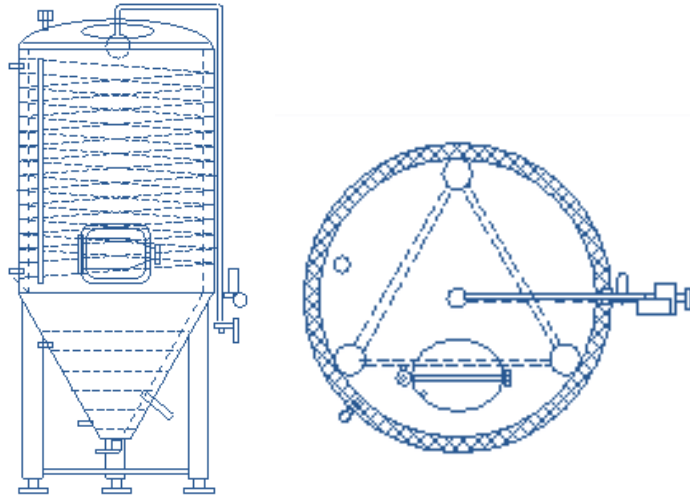


Figura 10-3: Aislante térmico
Fuente: (Rubén Sancho Saurina 2015)

Para obtener el espesor del aislante que se va aplicar que es de poliuretano se tiene en consideración la temperatura de fermentación, enfriamiento y la temperatura exterior del medio, las cuales son 22°C, 16°C y 15°C respectivamente.

- **Variación de la temperatura**

$$\Delta T = T_m - T_i$$

Donde:

T_m : Temperatura exterior del medio: 15°C

T_i : Temperatura interior del tanque: 22°C

$$\Delta T = 15^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = -7^\circ\text{C}$$

Con el valor de ΔT obtenida se obtiene el valor de coeficiente de transferencia de calor con la siguiente Tabla 13-3.

Tabla 13-3: Coeficientes de transferencia de calor

ΔT ($^{\circ}C$)	U ($\frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$)
>60	0,15
50	0,20
40	0,25
30	0,30
20	0,35
10	0,40
0	0,45
-10	0,50
-20	0,55
-30	0,60
-40	0,65
-50	0,70
<-60	0,75

Fuente: (Pilligua Chilán 2008)

Teniendo el valor de $U = 0,485 \frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$

Además, los valores de h (coeficientes de convección) se dan de acuerdo a la disposición del tanque de los cuales se tiene:

$h_i = 10 \frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$: Pared en contacto con el tanque o cámara

$h_e = 20 \frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$: Pared en contacto con el aire exterior

Por otro para determinar el espesor del aislante se debe considerar las propiedades térmicas del aislante, en este caso del poliuretano, así como de las placas metálicas que están constituido el tanque fermentador que son de acero inoxidable AISI 304, que según los cálculos realizados tienen un espesor de 0,0035m.

Espesor y conductividad térmica de los materiales empleados

Tabla 14-3: Materiales empleados en las paredes del fermentador

Materiales empleados en las paredes del tanque	Espesor (m)	Conductividad ($\frac{Kcal}{h.m.^{\circ}C}$)
Plancha de acero inoxidable	0,0035	17
Poliuretano	e_n	0,0232

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{e_n}{Kn} + \frac{1}{h_i}}$$

Donde:

e_n : Espesor de cada uno de los materiales que componen el cerramiento:

h_e y h_i : Coeficientes de transmisión de calor por convección; 10 y 20 $\frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$

Kn : Conductividad térmica de cada uno de los materiales: 17 $\frac{Kcal}{h.m.^{\circ}C}$ para el acero inoxidable

(interna y la que está en contacto externo con el ambiente) y 0,0232 $\frac{Kcal}{h.m.^{\circ}C}$ del poliuretano

U: Coeficiente de transferencia de calor: 0,485 $\frac{Kcal}{h.m^2.^{\circ}C}$

$$0,485 = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{e_n}{0,0232} + \frac{0,0035}{17} + \frac{0,0035}{17} + \frac{1}{20}}$$

$$0,485 = \frac{1}{0,15 + \frac{e_n}{0,0232}}$$

$$\left(0,15 + \frac{e_n}{0,0232}\right) 0,485 = 1$$

$$0,073 + 20,9e_n = 1$$

$$20,9e_n = 1 - 0,073$$

$$e_n = 0,045m$$

3.5.3. Diseño del sistema de agitación

- Longitud del brazo

$$Lb = \frac{5}{7} \phi_{tanque 1}$$

Donde:

Lb : Longitud del brazo

$h_{tanque fermentador}$: Altura del tanque fermentador: 0,87m

$$Lb = \frac{5}{7} (0,87m)$$

$$Lb = 0,62m$$

- Ancho de la paleta de agitación

$$hag = \frac{1}{5} \phi_{tanque}$$

Donde:

h_{ag} : Ancho de la paleta de agitación

ϕ_{tanque} : Diámetro del tanque 1: 0,37m

$$h_{ag} = \frac{1}{5} * 0,37m$$

$$h_{ag} = 0,074m$$

- **Alto de paletas**

$$ap = 0,10 * \phi_{tanque\ 1}$$

Donde:

ap : Alto de paletas

ϕ_{tanque} : Diámetro del tanque 1: 0,37m

$$ap = 0,10 * (0,37)$$

$$ap = 0,037m$$

3.5.4. Ciclo de refrigeración

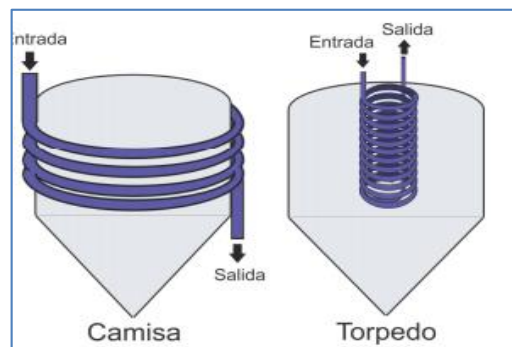
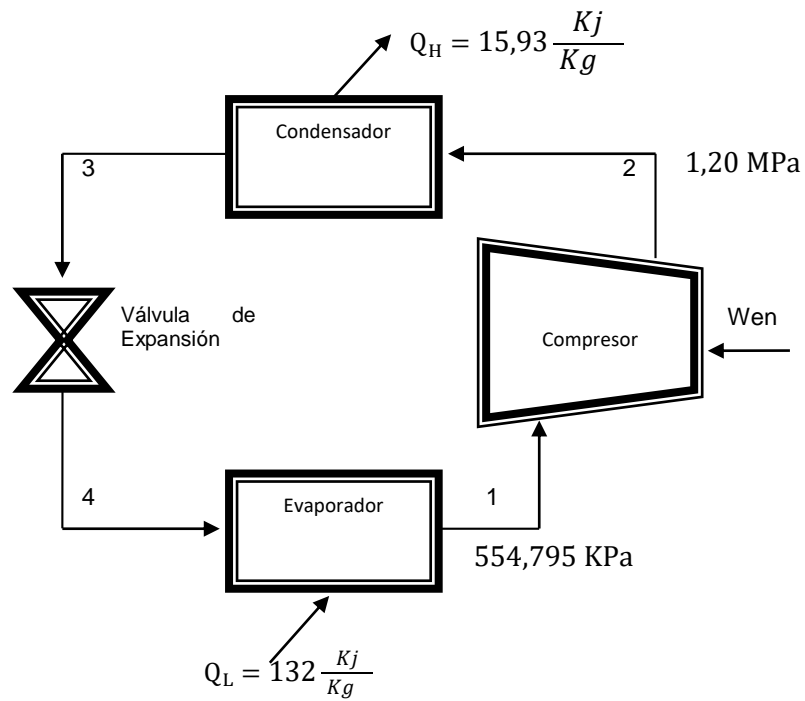


Figura 11-3: Sistema de enfriado

Los sistemas de enfriado para fermentadores están compuestos por un sistema de tubos, que pueden estar ubicados alrededor del tanque fermentador (camisa) o es su interior (torpedo) como se puede observar en la figura 11-3, por el cual se hace circular un líquido refrigerante, el mismo que en el presente proyecto se usó el 134a. El líquido refrigerante proviene de un enfriador o chiller, que mantiene la temperatura del líquido constante, y por medio de una bomba se fuerza su circulación por los tubos del fermentador. A continuación, se muestra un diagrama del sistema completo.



Condiciones de operación:

Temperatura del espacio refrigerado $19^\circ C$

Temperatura de rechazo $54,4^\circ C$

Refrigerante 134 a

Flujo másico $\dot{m} = 9 \frac{Kg}{día} = 0,0025 \frac{Kg}{s}$

Tabla Cengel A-11

A $19^\circ C$ $P_1 = 554,795 \text{ KPa}$

A $19^\circ C$ $S_g = 0,92272 \frac{Kj}{Kg \cdot K}$

$h_1 = h_g = 261,06 \frac{Kj}{Kg}$

$$COP_R = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

$$COP_R = \frac{1}{\frac{327,55}{292,15} - 1}$$

$$COP_R = 8,25$$

$$A \text{ 19}^\circ\text{C} \quad P_1 = 554,795 \text{ KPa}$$

$$A \text{ 19}^\circ\text{C} \quad S_g = 0,92272 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$S_1 = S_2 = S_g$$

Tabla Cengel A-13

$$A \text{ 19}^\circ\text{C} \quad S_g = 0,92272 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \quad P_2 = 1,20 \text{ MPa}$$

$$A \text{ 19}^\circ\text{C} \quad S_g = 0,92272 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \quad h_2 = 276,99 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$W = h_2 - h_1$$

$$W = 276,99 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 261,06 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$W = 15,93 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\dot{W} = 15,93 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \times 0,0025 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{W} = 0,04 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

$$\dot{W} = 0,04 \text{ KW} \times \frac{1,3410 \text{ HP}}{1 \text{ KW}} = 0,054 \text{ Hp}$$

$$0,054 \text{ Hp} = 54 \text{ V}$$

$$\text{COP}_R = \frac{Q_L}{W_{\text{neto}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$\text{COP}_R \times W_{\text{neto}} = Q_L$$

$$Q_L = 0,04 \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \times 8,25$$

$$Q_L = 0,33 \frac{\text{KJ}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ s}}{0,0025 \text{ Kg}}$$

$$Q_L = 132 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

3.5.5. Accesorios usados en el tanque fermentador

Es posible distinguir tres zonas en los fermentadores, cada una de ellas con características diferentes:

Zona elipsoidal:

- ✓ Puerta superior isobárica redonda diámetro 200 mm.
- ✓ Cúpula abombada tipo “Kloper”.
- ✓ Rodamiento.
- ✓ Dos orejetas para carga y descarga.
- ✓ Orificio de ½ pulgada para la colocación del airlog.

Zona cilíndrica:

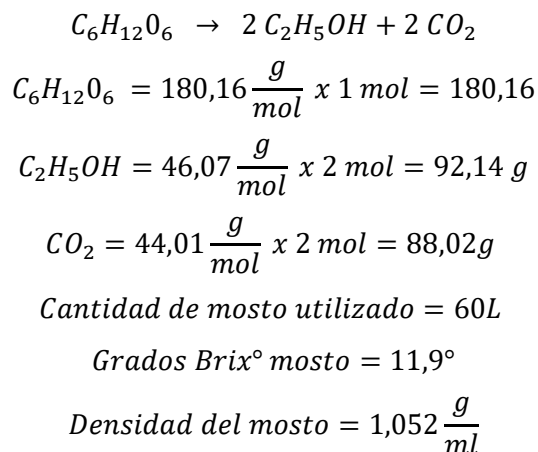
- ✓ Camisa de refrigeración.
- ✓ Termóstato.
- ✓ Vaina para sonda de temperatura.
- ✓ Aislamiento ISOTÉRMICO con espuma inyectada de poliuretano expandido de 35 mm de espesor montado sobre el cuerpo cilíndrico.
- ✓ Forrado exterior partes aisladas, con acabado en acero inoxidable de calidad AISI-304 pulido.

Zona cónica:

- Fondo cónico (ángulo de 60°).
- 2 Válvulas de bola ¾ de acero inoxidable, una para descarga total y otra para descarga parcial (toma de muestras).
- 3 Patas diámetro 38 mm con un largo de 70cm.

3.5.6. Cálculo de la Velocidad de reacción

• Reacción teórica



- **Masa del mosto utilizado**

$$60000\text{ml} \times 1,052 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 63120 \text{ g mosto}$$

- **Cantidad de azúcar en el mosto**

$$63120 \text{ g mosto} \times \frac{11,9 \text{ g azúcar}}{100 \text{ g mosto}} = 7511,28\text{g azúcar}$$

- **Cálculo grado alcohólico teórico**

$$7511,28\text{g azúcar} \times \frac{1 \text{ mol azúcar}}{180,16 \text{ g azúcar}} \times \frac{2 \text{ mol } C_2H_5OH}{1 \text{ mol azúcar}} \times \frac{46,07 \text{ g } C_2H_5OH}{1 \text{ mol } C_2H_5OH} = 3841,53 \text{ g } C_2H_5OH$$

$$\text{Densidad } C_2H_5OH = 0,789 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\text{Volumen teórico } C_2H_5OH = 3841,53\text{g } C_2H_5OH \times \frac{1\text{ml}}{0,789} = 4868,86 \text{ ml } C_2H_5OH$$

$$\text{Porcentaje de alcohol teórico} = \frac{4868,86 \text{ ml } C_2H_5OH}{60000\text{ml}} \times 100 = 8,1 \%$$

- **Reacción real**

$$\text{Porcentaje de alcohol obtenido} = 5,2 \%$$

$$\text{Volumen real } C_2H_5OH = \frac{5,2 \text{ ml } C_2H_5OH}{100 \text{ ml}} \times 60000\text{ml} = 3120 \text{ ml } C_2H_5OH$$

$$\text{Masa real } C_2H_5OH = 3120 \text{ ml } C_2H_5OH \times \frac{0,789 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 2461,68 \text{ g } C_2H_5OH$$

- **Rendimiento de la reacción**

$$\frac{2461,68 \text{ g } C_2H_5OH}{3841,53\text{g } C_2H_5OH} \times 100 = 64,08 \%$$

- **Velocidad de reacción teórica**

$$v = \frac{\Delta []}{\Delta t}$$

Concentración Molar teórica

$$7511,28\text{g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol}}{180,16 \text{ g}} \times \frac{41,69 \text{ mol}}{60 \text{ L}} = 0,69 \frac{\text{mol } C_6H_{12}O_6}{\text{L}}$$

$$3841,53 \text{ g } C_2H_5OH \times \frac{1 \text{ mol}}{46,07 \text{ g}} \times \frac{83,38 \text{ mol}}{60 \text{ L}} = 1,39 \frac{\text{mol } C_2H_5OH}{L}$$

Considerando solo la formación de C_2H_5OH en un tiempo de fermentación de 9 días

Tiempo	$[C_6H_{12}O_6]$	$[C_2H_5OH]$
t=0	0,69	0
t=1	0	1,39

$$v = \frac{\Delta []}{\Delta t} = \frac{\Delta [1,39^2 - 0,69]}{\Delta [216h - 0h]}$$

$$v = \frac{5,75 \times 10^{-3} \text{ mol}}{h}$$

Velocidad de reacción real

$$v = \frac{\Delta []}{\Delta t}$$

Concentración Molar real

$$7511,28 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol}}{180,16 \text{ g}} \times \frac{41,69 \text{ mol}}{60 \text{ L}} = 0,69 \frac{\text{mol } C_6H_{12}O_6}{L}$$

$$2461,68 \text{ g } C_2H_5OH \times \frac{1 \text{ mol}}{46,07 \text{ g}} \times \frac{53,43 \text{ mol}}{60 \text{ L}} = \frac{0,89 \text{ mol } C_2H_5OH}{L}$$

Considerando solo la formación de C_2H_5OH en un tiempo de fermentación de 9 días

Tiempo	$[C_6H_{12}O_6]$	$[C_2H_5OH]$
t=0	0,69	0
t=1	0	0,89

$$v = \frac{\Delta []}{\Delta t} = \frac{\Delta [0,89^2 - 0,69]}{\Delta [216h - 0h]}$$

$$v = \frac{4,72 \times 10^{-4} \text{ mol}}{h}$$

Variación de la velocidad de reacción teórica y experimental

$$\frac{\frac{4,72 \times 10^{-4} \text{ mol}}{h}}{\frac{5,75 \times 10^{-3} \text{ mol}}{h}} \times 100 = 8,21 \%$$

3.6. Balance de masa de la línea de producción de cerveza artesanal

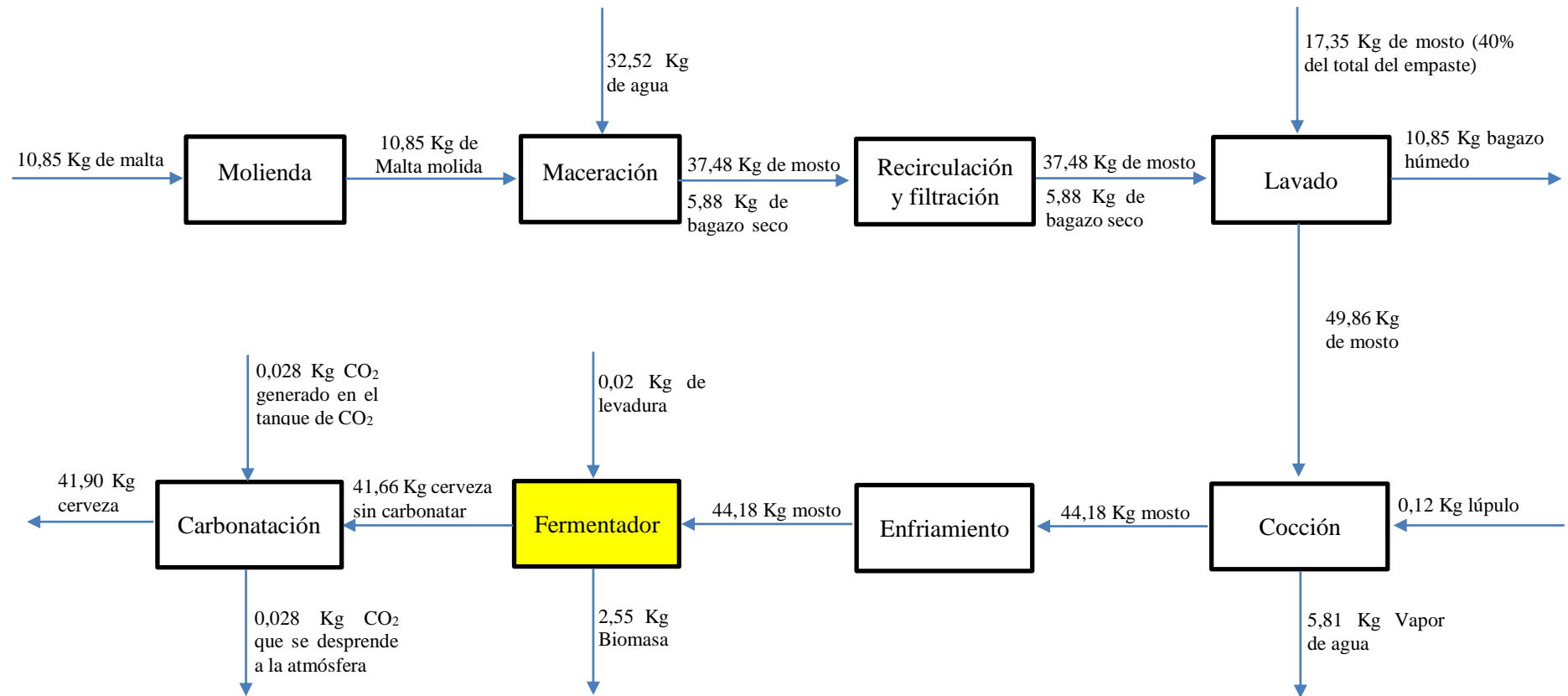


Figura 12-3: Balance de masa general del proceso de obtención de cerveza artesanal
 Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

4.1. Resultados del diseño del fermentador

Los resultados del dimensionamiento del equipo fermentador de cerveza artesanal se pueden observar en la Tabla 1-4, teniendo consideración que cuenta con un agitador de paletas de tipo manual, ya que su uso será netamente para homogenizar el mosto con la levadura y llegar a obtener muestras de la bebida lo largo de la etapa, sin olvidar que ayuda que el sistema de reacción opere en la misma temperatura en todos los puntos, optimizando los fenómenos de transferencia de calor y masa. Además, la agitación manual es de fácil manejo, menor coste de operación y mantenimiento, a diferencia de uno mecánico, el cual contaría con un motor eléctrico.

Mientras que el sistema de refrigeración evita que se llegue a temperaturas no deseadas perjudicando al producto, debido a que los microorganismos al no encontrarse en una temperatura óptima pueden morir o no puedan desarrollarse de la mejor manera. En el presente proyecto se trabajó con microorganismos adecuados para la obtención de cerveza tipo Ale, los cuales trabajan en un rango de temperatura de 18-22°C.

Tabla 1-4: Resultados del diseño del fermentador

Descripción	Abreviatura	Valor	Unidad
Tanque fermentador			
Volumen del mosto	V_{mosto}	60	L
Volumen de diseño	V_f	69	L
Diámetro interno del tanque fermentador	d	0,35	m
Diámetro externo del tanque fermentador	ϕ_E	0,3735	m
Volumen del elipsoide	V_{elip}	$6,64 \times 10^{-3}$	m^3
Altura del elipsoidal	h_{Elips}	0,093	m
Volumen del cono	V_{cono}	0,011	m^3
Altura del cono	h_{cono}	0,32	m
Volumen del cilindro	$V_{cilindro}$	0,049	m^3
Altura del cilindro	$h_{cilindro}$	0,45	m
Diámetro interno del tanque fermentador	d	0,35	m
Espesor de la pared (acero inoxidable)	t	3,5	mm

Separación del recubrimiento de acero del tanque fermentador	S_R	0,037	m
Presión del proceso	$P_{Proceso}$	29	$\frac{lb}{plg^2}$
Presión de operación	$P_{Operación}$	30,078	$\frac{lb}{plg^2}$
Presión del líquido	$P_{Líquido}$	1,078	$\frac{lb}{plg^2}$
Presión de diseño	$P_{diseño}$	33,09	$\frac{lb}{plg^2}$
Espesor del aislante térmico (Poliuretano)	e_n	0,045	m

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Tabla 2-4: Resultados del diseño del fermentador

Descripción	Abreviatura	Valor	Unidad
Sistema de agitación manual (Paletas planas de 90°)			
Longitud del brazo	<i>Lb</i>	0,62	m
Ancho de la paleta de agitación	<i>hag</i>	0,075	m
Alto de paletas	<i>ap</i>	0,037	m

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.2. Resultados de curvas experimentales para el diseño del equipo

- **Curvas de pH**

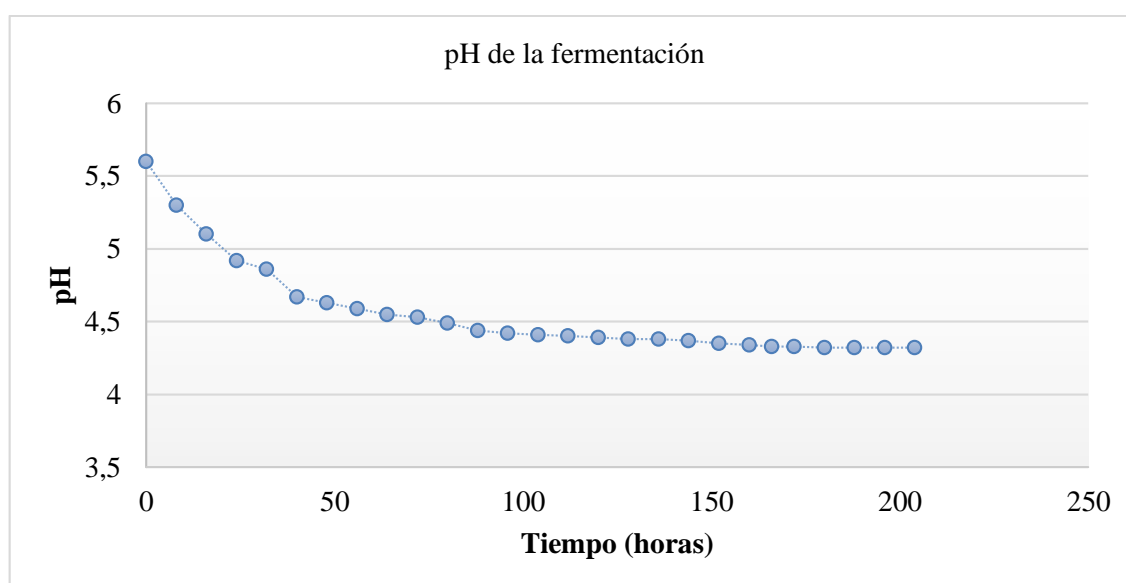
El valor pH recomendado para la cerveza es:

- ✓ 5,3 a 5,5 (óptimo en 5 a 5,2): Este valor es correspondiente al mosto caliente, se debe mencionar si el valor esta fuera de estos rangos puede llegar a afectar considerablemente la fermentación.
- ✓ 4,3 a 4,6 (óptimo en 4,2 a 4,3) en la cerveza, ya que si el pH es menor a 3 puede causar inhibición por pH, en donde los centros activos de las enzimas se ionizan perdiendo su actividad enzimática (Cruz Daza y Meyer Sanchez, 2019, p.34).

Tabla 3-4: Tiempo de fermentación vs pH

Tiempo (horas)	pH	Tiempo (horas)	pH	Tiempo (horas)	pH
0	5,6	72	4,53	144	4,37
8	5,3	80	4,49	152	4,35
16	5,1	88	4,44	160	4,34
24	4,92	96	4,42	166	4,33
32	4,86	104	4,41	172	4,33
40	4,67	112	4,4	180	4,32
48	4,63	120	4,39	188	4,32
56	4,59	128	4,38	196	4,32
64	4,55	136	4,38	204	4,32

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.



Gráfica 1-4: pH de la fermentación

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Como se puede ver en la Gráfica 1-4, el primer día la fermentación (24 horas) presenta una variación que es bastante notoria de pH, esto se debe a que la levadura entra en una etapa de crecimiento, por esta razón al entrar en la etapa la fase de latencia, es decir, se adapta al nuevo medio de cultivo, en etapa la levadura evalúa su nuevo ambiente, realizando balances de azúcar, de oxígeno y otros nutrientes disponibles desarrollando las enzimas necesarias para su adaptación. Durante el tercer día al décimo (72 a 188 horas) la etapa entra en una etapa de atenuación en el cual convierte los azúcares en CO₂, alcohol y otros subproductos.

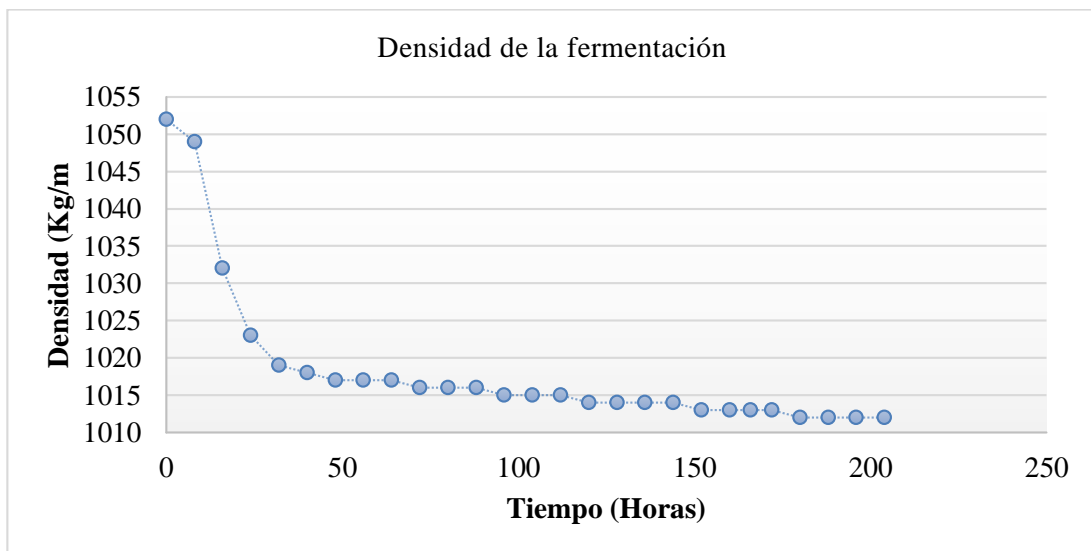
- **Curva de Densidad**

Al hablar de densidad en la fermentación se denomina atenuación, el cual es un indicador del grado de fermentación que nos dice que tanto de azúcar se convirtió en alcohol y el CO₂ durante esta etapa. Siendo así que el concepto de atenuación se creó por cerveceros cuyo objetivo era medir el decrecimiento del azúcar durante la fermentación. La cual sustituye la medición directa de la azúcar por una estimación más o menos precisa basada en el porcentaje de reducción de la densidad del mosto (Cruz Daza y Meyer Sanchez, 2019, p.34).

Tabla 4-4: Tiempo de fermentación vs Densidad

Tiempo (horas)	Densidad	Tiempo (horas)	Densidad	Tiempo (horas)	Densidad
0	1052	72	1016	144	1014
8	1049	80	1016	152	1013
16	1032	88	1016	160	1013
24	1023	96	1015	166	1013
32	1019	104	1015	172	1013
40	1018	112	1015	180	1012
48	1017	120	1014	188	1012
56	1017	128	1014	196	1012
64	1017	136	1014	204	1012

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.



Gráfica 2-4: Densidad de la fermentación

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

De acuerdo a la Gráfica 2-4 se tiene que el valor inicial de la densidad del mosto antes de ser inoculado es de $1052 \frac{Kg}{m^3}$, presentando una gran variación en el primer día (24 horas), ya que la levadura comienza a asimilar los azúcares más simples, primero la glucosa, luego la fructosa y la sacarosa. A partir de las 24 horas aproximadamente y en adelante se presentan pequeñas variaciones se comienza a asimilar los demás azúcares como la maltosa que es la más abundante y que influye en el sabor de la cerveza y por último esta la maltotriosa que es muy difícil de asimilar y dependerá de la cepa de la levadura. La densidad de la cerveza disminuye llegando a medir de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{4}$ de la densidad inicial, esto puede durar entre 2 a 6 días para la cerveza Ale. Se puede observar que a partir del día 7 la densidad se mantiene constante.

De acuerdo a los datos obtenidos en la experimentación con el tanque fermentador se procede a calcular la atenuación.

$$\text{Atenuación} = \frac{100 * (\rho_i - \rho_f)}{\rho_i - 1}$$

Donde:

$$\rho_i: \text{Densidad inicial: } 1052 \frac{Kg}{m^3}; 1,052 \frac{g}{mL}$$

$$\rho_f: \text{Densidad final: } 1012 \frac{Kg}{m^3}; 1,012 \frac{g}{mL}$$

$$\text{Atenuación} = \frac{100 * (1,052 \frac{g}{mL} - 1,012 \frac{g}{mL})}{1,052 \frac{g}{mL} - 1}$$

$$\text{Atenuación} = 76,92\%$$

La finalización de la fermentación habrá transformado el 76,92% del azúcar en alcohol.

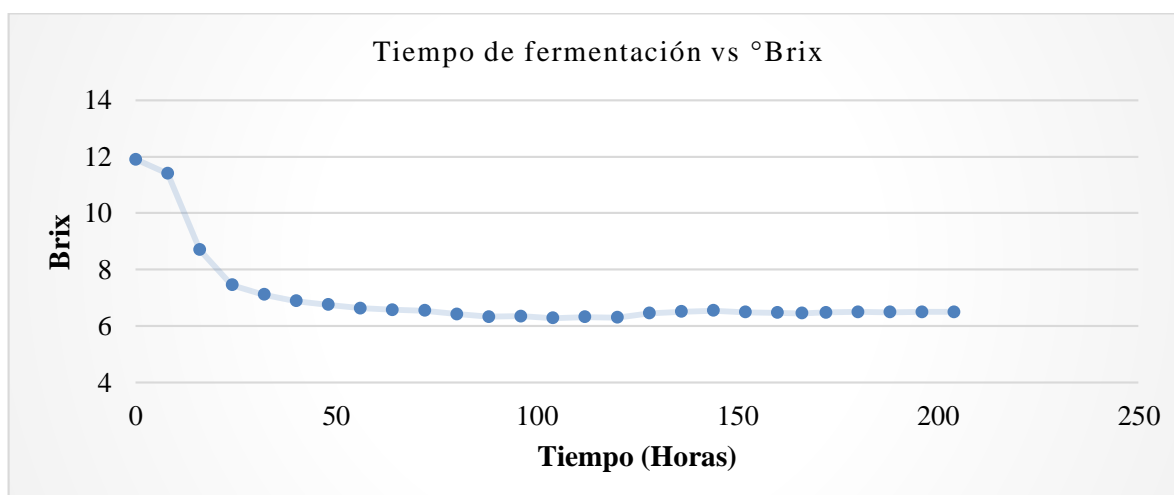
- **Grados Brix**

Los grados brix se relacionan con la cantidad de sólidos solubles. Se debe mencionar que el mosto previo a ser inoculado debe tener un valor o igual a 12°Brix, ya que este parámetro nos da a conocer que es un buen mosto para fermentar, no obstante, si este valor es superior se podría generar alcoholes superiores a lo largo de la fermentación. Y al contrario si los grados brix son inferiores a 9 en el mosto puede implicar menos sustancias formadoras de espuma y de amino ácidos que son alimento para las levaduras (Cruz Daza y Meyer Sanchez, 2019, p.34).

Tabla 5-3: Tiempo de fermentación vs °Brix

Tiempo (horas)	Brix	Tiempo (horas)	Brix	Tiempo (horas)	Brix
0	11,9	72	6,55	144	6,55
8	11,4	80	6,42	152	6,49
16	8,7	88	6,33	160	6,47
24	7,45	96	6,35	166	6,45
32	7,11	104	6,28	172	6,48
40	6,89	112	6,32	180	6,5
48	6,75	120	6,3	188	6,49
56	6,63	128	6,45	196	6,5
64	6,57	136	6,51	204	6,5

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.



Gráfica 3-4: Grados brix durante la fermentación

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

En la Gráfica 3-4 se puede observar que a lo largo de la fermentación los grados brix o sólidos solubles totales dependen de la cantidad de levadura con la que se inocula el mosto. Ya que si existe un número mayor de células utilizando azúcares a un ritmo constante se tiene un aumento de la velocidad de utilización de hidratos de carbono.

En el día 0 (Hora 0), es decir, cuando el mosto no ha sido inoculado el valor es más grande de grados plato o grados brix, ya que en la etapa de maceración se degradan varias enzimas en azúcares.

Se evidencia que entre el día 1 al día 6 (24 a 144 horas) la tendencia de los grados brix disminuye, ya que la levadura comienza a degradar a los azúcares presentes y los convierte en etanol.

- **Curva del grado alcohólico**

La graduación alcohólica es la relación entre el volumen de alcohol en estado puro contenido en el producto. En las grandes plantas industriales el grado alcohólico puede ser obtenido por análisis químicos, pero para el fabricante artesanal dispone equipos y productos para realizar este tipo de ensayos por lo que mediante cálculos matemáticos se vale para estimarla a partir de la disminución de la densidad del mosto mediante la siguiente Ecuación:

$$\%alcohol = (\rho_i - \rho_f) * 131$$

Donde la densidad inicial es antes que el mosto sea inoculado y la densidad final se toma el valor { '+' } {antes de añadir el azúcar para la fermentación.

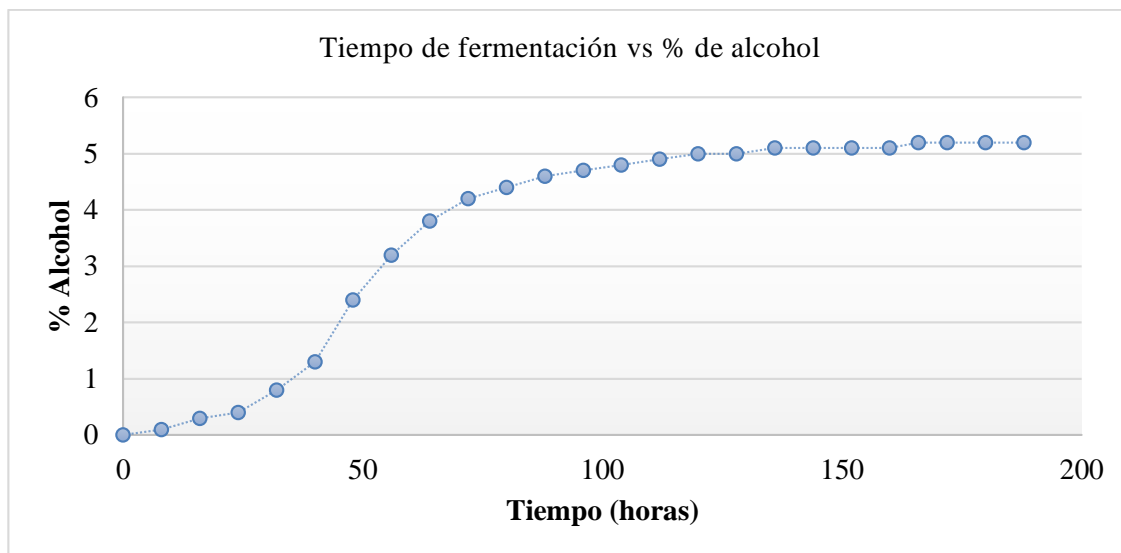
El alcohol tiene tres efectos diferentes sobre el metabolismo de la levadura:

- Estorba el crecimiento celular
- Disminuye el número de las células vivas
- Inhibe la fermentación

Tabla 6-4: Tiempo de fermentación vs % de alcohol

Tiempo (horas)	% alcohol	Tiempo (horas)	% alcohol	Tiempo (horas)	% alcohol
0	0	72	4,2	144	5,1
8	0,1	80	4,4	152	5,1
16	0,3	88	4,6	160	5,1
24	0,4	96	4,7	166	5,2
32	0,8	104	4,8	172	5,2
40	1,3	112	4,9	180	5,2
48	2,4	120	5	188	5,2
56	3,2	128	5	196	5,2
64	3,8	136	5,1	204	5,2

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.



Gráfica 4-4: Tiempo de fermentación vs % de alcohol.

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Como se puede observar en la Gráfica 4-4, el porcentaje de alcohol a partir de las 24 horas tiene un aumento progresivo. Hasta llegar a un valor de 5,2%. Valores que fueron obtenidos mediante un densímetro. Ahora bien, se puede aplicar la fórmula del uso de las densidades para obtener el porcentaje alcohólico.

$$\%alcohol = (\rho_i - \rho_f) * 131$$

Donde:

$$\rho_i: \text{Densidad inicial: } 1052 \frac{Kg}{m^3}; 1,052 \frac{g}{mL}$$

$$\rho_f: \text{Densidad final: } 1012 \frac{Kg}{m^3}; 1,012 \frac{g}{mL}$$

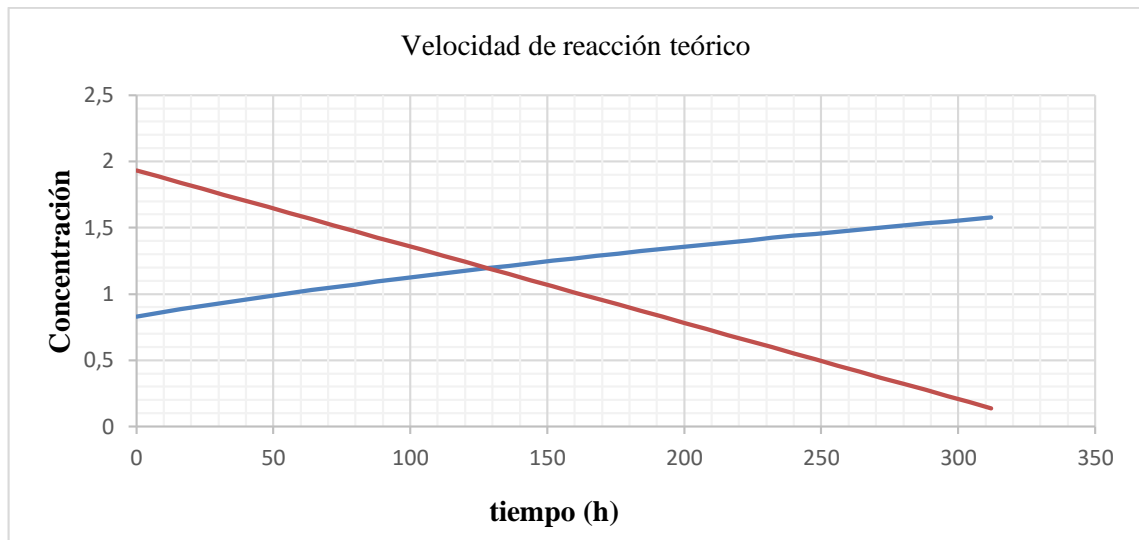
$$\%alcohol = (1,052 - 1,012) * 131$$

$$\%alcohol = 5,24$$

Este valor obtenido mediante la ecuación tiene relación con el valor obtenido mediante el densímetro.

- **Curvas de la velocidad de reacción**

La velocidad de sustancia que se trasforma en producto los reactivos a medida que avanza el tiempo, siendo así se tiene la Gráfica 5-4, la misma que se realizó mediante los datos que se pueden observar en el ANEXO 5.



Gráfica 5-4: Velocidad de reacción teórico

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

En la Gráfica 5-4 se puede observar la transformación de los azúcares presentes en el mosto mediante una fermentación alcohólica donde los microorganismos unicelulares se alimentan de las moléculas de glucosa obteniendo la energía necesaria para sobrevivir produciendo alcohol y CO_2 , la cual se encuentra representada por la línea roja, es así que con el pasar del tiempo esta se vuelve en alcohol representado por la línea azul, al tratarse de una fermentación de una cerveza artesanal esta tradicionalmente se lleva a cabo en sistemas Batch, donde la fermentación es lenta con levadura libremente suspendida tomando alrededor de una semana a tres.

4.3. Validación del producto realizado en el fermentador diseñado

Con finalidad de poder aportar un valor adicional a la validación del equipo fermentador se tiene los análisis físicos-químico y microbiológicos, a la cerveza obtenida en el mismo la cual debe cumplir con parámetros de calidad basada en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2262 “Bebidas Alcohólicas. Cerveza. Requisitos”.

4.3.1. Análisis físico-químico

El análisis de la cerveza permite validar el producto, al igual que el equipo fermentador construido, ya que demuestra que las condiciones obtenidas en el código ASME para su construcción son las adecuadas.

A continuación, en la Tabla 7-4 se puede observar que los parámetros caracterizados se encuentran dentro de la norma NTE INEN 2262, lo cual nos indica que el producto es óptimo para el consumo humano.

Tabla 7-4: Análisis físico-químico de la cerveza artesanal

Determinante	Resultado	Norma INEN		Unidades
		Mínimo	Máximo	
Contenido alcohólico	5,2	1,0	10,00	% (v/v)
Acidez total, expresado como ácido láctico	0,31	-	0,3	% (m/m)
pH	4,41	3,5	4,8	-
Contenido de hierro	0,1	-	0,2	$\frac{mg}{dm^3}$
Contenido de plomo	0,016	-	0,1	$\frac{mg}{dm^3}$
Contenido de arsénico	<0,4	-	0,1	$\frac{mg}{dm^3}$
Contenido de zinc	0,33	-	1,0	$\frac{mg}{dm^3}$
Contenido de cobre	0,1	-	1,0	$\frac{mg}{dm^3}$

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos de Aguas y Alimentos

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.3.2. Análisis microbiológico

La cerveza al tratarse de un alimento debe estar libre de microorganismo perjudiciales para la salud del ser humano o en cantidades aceptadas por la normativa correspondiente, en el análisis final del producto como se puede observar en la Tabla 8-4, presenta cantidades aceptables para la cerveza.

Tabla 8-4: Análisis microbiológico de la cerveza artesanal

Determinante	Resultado	Norma INEN		Unidades
		Mínimo	Máximo	
Microorganismos anaerobios	8	-	10	$\frac{ufc}{cm^3}$
Mohos y levaduras	9	-	10	$\frac{up}{cm^3}$

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos de Aguas y Alimentos

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.4. Escalamiento semi industrial de la Producción de cerveza artesanal tipo Ale (Balance de masa en horizontal)

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza artesanal el cual se parte de la materia prima, hasta llegar a la carbonatación del producto final. Se debe

tener en consideración que el proceso está realizado para la obtención de 42 L, ya que los biorreactores cuentan su capacidad total de elaboración del mosto de dicho volumen, a pesar que el fermentador cuenta con una capacidad mayor además debido al factor de seguridad y el espacio suficiente para que exista la formación de espuma producida en la fermentación, por lo cual a continuación se muestra cada etapa en la producción se hace énfasis en la etapa de fermentación, debido a que del mismo se realizó el diseño y se construyó el equipo.

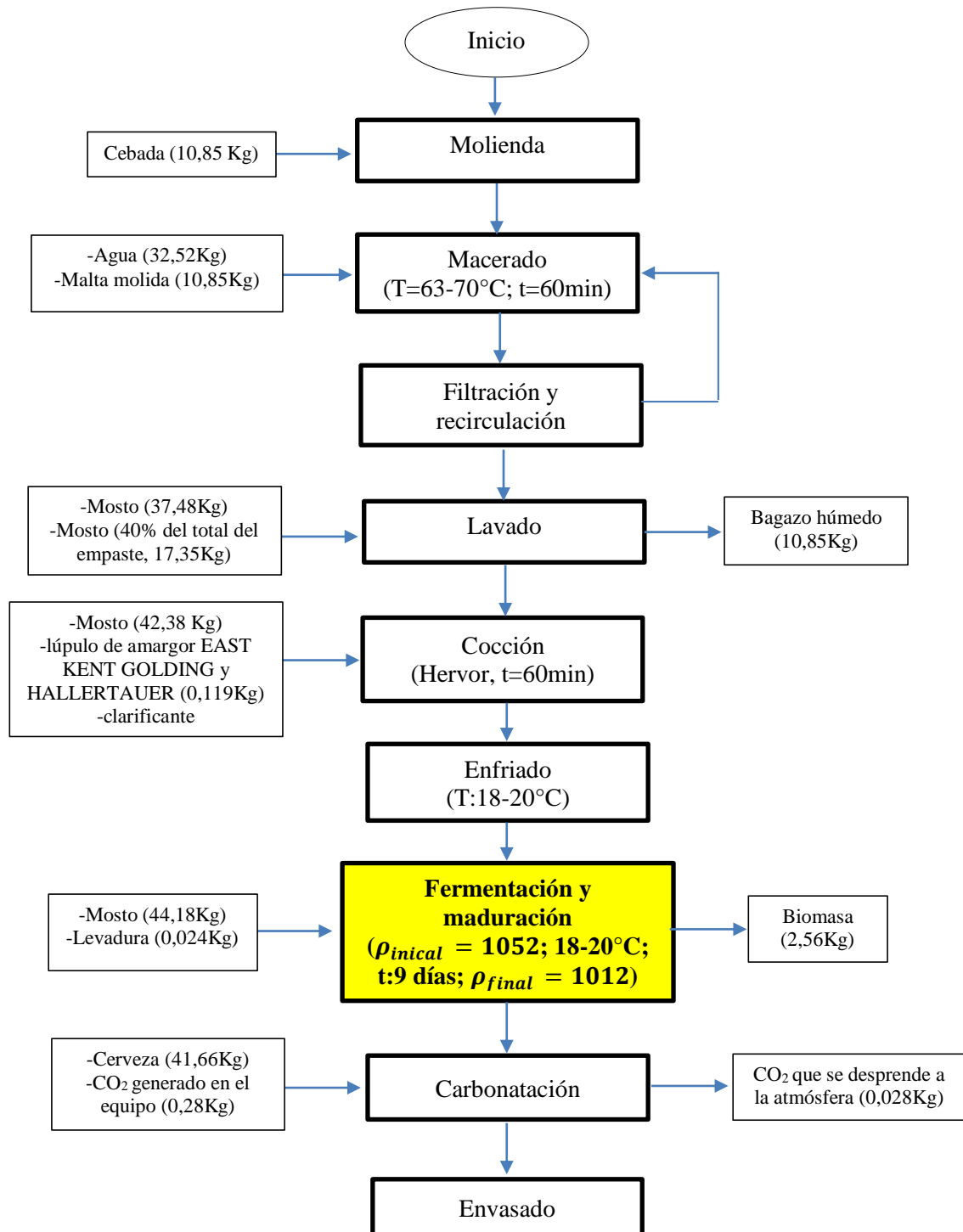


Figura 13-4: Proceso de obtención en la línea de producción
 Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.5. Validación real del equipo fermentador

Con finalidad de tener un respaldo que aporte veracidad y funcionalidad del equipo diseñado y construido a continuación se presenta el proceso de producción de cerveza en el mismo, incluido los procesos previos a la fermentación, así como la posterior que se trata de la carbonatación. Se debe tener en consideración el presente proyecto tiene un papel principal el dimensionamiento y funcionamiento del equipo fermentador para llegar a obtener la bebida alcohólica.

- **Pesaje:** Para la producción de la cerveza es necesario el uso de 10,85 Kg de cebada malteada.



Figura 14-3: Cebada

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Molienda de granos:** Se inicia el proceso realizando la etapa de la molienda, donde la cebada malteada debe tener un diámetro de partícula no sea muy pequeña.



Figura 15-3: Molienda

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Maceración:** Posteriormente se lleva la cebada molida a la marmita donde se va a llevar a cabo la maceración de la misma, para lo cual se necesita 32,52Kg de agua que debe tener una temperatura de 70°C, y se mantiene por 90 minutos. Obteniendo 37,48 Kg de mosto.



Figura 16-3: Macerado

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021

- **Lavado de cebada:** Se realiza la recirculación y filtración, para posteriormente realizar un lavado añadiendo 17,35 Kg de mosto (40% del total del empaste).



Figura 17-3: Lavado de la cebada

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021

- **Cocción:** Los 32,38Kg del mosto obtenido en después del lavado este se somete a calor hasta que llegue a un hervor y se coloca 0,119Kg de lúpulo, repartido en 0,09Kg de cebada EAST KENT GOLDING que aporta amargor y se dejó hervir por 60 minutos, posterior a esto se colocó 0,029Kg de lúpulo HALLERTAUEER el cual se le deja hervir por 15 minutos, a este proceso se denomina cocción.



Figura 18-3: Cocción

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Enfriamiento:** El mosto obtenido posterior a la cocción es de 63,12Kg el cual realiza un enfriado hasta llegar a una temperatura de 18°C a 20°C. La densidad inicial se encuentre en un valor aproximado a 1050Kg/m³, para la realización de cerveza tipo Ale, caso contrario se deberá corregir agregando agua o azúcar.



Figura 19-3: Enfriamiento

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Adición del mosto al fermentador:** La alimentación del tanque fermentador se realiza con 63,12Kg de mosto.



Figura 20-3: Adición de mosto al tanque fermentador

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Adición de levadura:** Se añade la levadura (0,0345 Kg) directamente al mosto y se homogeniza hasta disolver la levadura, finalmente sellar herméticamente la tapa del fermentador, en la tapa del fermentador se añade el airlock con agua y alcohol industrial. Se lleva a cabo un control de temperatura estableciendo un rango de temperatura de 18°C a 20°C, donde los microorganismos pueden desarrollarse de manera óptima durante 9 días.



Figura 21-3: Adición de levadura
Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Cerveza sin carbonatar:** Después del tiempo de fermentación, la cerveza obtiene una densidad de 1012Kg/m^3 , porcentaje alcohólico de 5,2 y un pH de 4,42.



Figura 22-3: Cerveza sin carbonatar
Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

- **Carbonatación:** Finalmente se procesó a la carbonatación se llevó a cabo con 59,51Kg de cerveza mediante un tanque que al abrir el paso de CO_2 , donde se añade 0,395Kg de gas.



Figura 23-3: Tanque de carbonatación
Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.6. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Al ser un equipo que donde se lleva a cabo la elaboración de un producto de consumo humano se debe construir en un material óptimo, por lo cual el fermentador se construyó con acero inoxidable AISI 304, que cuenta con la característica de ser resistente a la oxidación y a temperaturas a la cual se realiza el proceso de fermentación.

Tabla 9-4: Componentes de construcción del fermentador

Sistema	Componentes	Descripción
Fermentador	Tanque fermentador de acero inoxidable	Forma parte principal en la obtención de elaboración de cerveza, en el cual se produce la fermentación del mosto mediante el consumo de azúcares por parte de las levaduras.
	Agitador de paletas manual	Paletas planas de 90° con los cuales generan una acción de mezcla suave, permitiendo que se produzca una reacción en todo el mosto a mezclar la levadura.
	Airlock	El sello de aire, es decir, permite que se libere los gases que se produce dentro del fermentador, al mismo tiempo que impide que ingrese aire al tanque.
	Aislante de poliuretano	Es un polímero usado en los procesos industriales ya que requiere un mínimo de espesor para poder actuar como paneles de aislante térmico.
	Capa metálica del recubrimiento de poliuretano	Este actúa como protector del material aislante, al igual que separador de la pared interna del fermentador con el ambiente, además de presentar un acabado liso.
	Sistema de refrigeración	Con el fin de mantener la temperatura adecuada para lograr el crecimiento óptimo de los microorganismos encargados de la fermentación se tiene el sistema de refrigeración.
	Termocupla	Sensor de temperatura.
	Válvula de bola de ¾	Sirve para regular el flujo de un fluido, en nuestro caso para la remoción de la cerveza del tanque fermentador.
	Neplos de ¾	Sirve para empalmar dos tuberías de igual o distinto tamaño
	Pernos de ½	Permite sujetar o unir piezas metálicas. En el fermentador actúa para cerrar herméticamente el tanque fermentador.

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.7. Análisis de Costo/beneficio del proyecto

Para llevar a cabo que el desarrollo del proyecto se obtuvo costos tanto de la materia prima e insumos para llevar a cabo la elaboración de 42 litros de cerveza artesanal, además de tener los costos de construcción del equipo de fermentación o biorreactor, los cuales se especifican a continuación.

4.7.1. Presupuesto de la materia prima para la elaboración del producto

Tabla 10-4: Costo de la materia prima e insumos para la elaboración de cerveza

Detalle	Precio unitario	Cantidad	Precio total (\$)
1 unidad/funda de Cebada Malteada Pale Ale de 1 Kg	1,25	5,8 Kg	7,32
1 Unidad/funda de Cebada malteada Caramelo en funda de 1 Kg	1,25	5Kg	6,25
Lúpulo Hallertaver en sobre de 20 g	3,40	60g (3 sobres)	10,20
Lúpulo East Kent Golding en sobre de 20 g	3,40	60g (3 sobres)	10,20
1 Sobre/Unidad de Levadura Safale de 11,5 g para 20L	6,40	23g (2 sobres)	12,80
Agua en botellón de 20 litros	2,00	46L	4,50
TOTAL PARA 42 LITROS			51,27
Precio por litro			1,22

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

Como se puede observar en la Tabla 10-4, el costo de producción por lote de cerveza artesanal (42 litros) es de 50,48 dólares, y por litro de cerveza tiene un costo de 1,21 dólares. Por lo que el coste del proceso está acorde a las necesidades de los estudiantes que a comparación de una línea de producción comercial es relativamente baja, al ser equipos destinados a la investigación y realización de prácticas de laboratorio. Por otro lado, se debe tener en consideración que la cerveza producida se debe almacenar en botellas de cristal de color ámbar que contará con el siguiente costo.

Tabla 11-4: Costo botellas de cristal de ámbar

Detalle	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Botellas de vidrio de 330 mL	128	Unidad	0,37	47,36

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

A continuación, en la Tabla 12-4, se muestra el costo de elaboración total de producción de la cerveza artesanal.

Tabla 12-4: Costo total de producción

Detalle	Precio total (\$)
Elaboración cerveza 42 L	50,48
128 Botellas de vidrio de 330 mL	47,36
COSTO TOTAL	97,84

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.7.2. Presupuesto construcción equipos

Los costos del equipo de fermentación para la obtención de cerveza artesanal tienen un valor de inversión requerida para su construcción de 1500,00 dólares, dicho valor se encuentra distribuido en diferentes componentes como se puede apreciar en la Tabla 13-4.

El costo del fermentador se encuentra incluido la mano de obra para su realización, al igual que el acero inoxidable necesario para su construcción.

Tabla 13-4: Costo de construcción del fermentador

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Fermentador de capacidad de 60 litros	1000,00	1000,00
1	Mano de obra	238,00	238,00
1	Unidad de enfriamiento motor	45,00	45,00
1	Controlador de frio digital automático	80,00	80,00
1	Cañería de cobre 5/16	25,00	25,00
1	Condensador	70,00	70,00
1	Ventilador	18,00	18,00
1	Filtro	10,00	10,00
2	Kilos de poliuretano líquido	9,00	18,00
4	Válvulas de $\frac{3}{4}$	5,00	20,00
2	Pernos de $\frac{1}{2}$	1,00	2,00

2	Neplos de $\frac{3}{4}$	2,00	4,00
1	Tubo de 1'1/2	50,00	50,00
3	Bushing $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$	1,34	4,02
2	Bushing de 1 a $\frac{1}{2}$	1,70	3,40
1	Airlock	3,50	3,50
1	Valcula check $\frac{3}{4}$	6,00	6,00
1	Tee Inoxidable $\frac{3}{4}$	2,23	2,23
1	Conector de manguera $\frac{1}{2}$ (5m)	1,34	6,70
TOTAL			1605,85

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.7.3. Presupuesto de la línea de proceso

El presupuesto para la construcción de la línea completa de obtención de cerveza artesanal se muestra a continuación en la Tabla 14-4.

Tabla 14-4: Costo de construcción de la línea de producción de cerveza artesanal

Cantidad	Descripción	Valor total
2	Marmitas con quemadores industriales	1238,00
1	Tanque fermentador con agitación manual	1605,85
1	Tanque de carbonatación	1500,00
TOTAL		4343,85

Realizado por: Córdova Paula, Romero Romy, 2021.

4.8. Análisis y discusión de resultados

El fermentador tipo Batch para cerveza artesanal es diseñado para la capacidad de trabajar dentro de una línea de producción de 42 litros, es decir, desde la obtención del mosto mediante maceración y cocción, hasta la carbonatación, lo cual significa que se puede llegar a obtener en un solo lote con ayuda de los demás equipos. Por otro lado, puede trabajar como un equipo individual, es decir, se puede producir hasta 60 litros, ya que su capacidad real es el mencionado valor. Según las necesidades que tenga los estudiantes o el tipo de estudio que se presenta realizar. En la línea de producción de cerveza artesanal, los equipos que lo conforman son la marmita para realizar la maceración, cocción y enfriamiento, seguido del tanque fermentador para la fermentación del mosto y por último el tanque de carbonatación para la adición de CO₂, siendo la variable a controlar en todos ellos la temperatura y tiempo. Donde la marmita al realizar la maceración debe contar con una temperatura de 70°C y 90 minutos, al igual que la etapa de

cocción a 90°C y un tiempo de 60 minutos. En ambos casos se busca activar las enzimas de la malta para convertir los almidones en azúcares más simples además de asegurar un medio aséptico donde solo se encuentre la levadura que posteriormente se inoculará. Posterior se tiene un enfriamiento para colocar el mosto en el fermentador el cual se debe tener una temperatura entre 18-22°C y un tiempo de 9 días hasta que la levadura añadida realice la transformación de los azúcares en alcohol etílico. Mientras que el tanque de carbonatación se controla el tiempo que se emita el CO₂ a la cerveza.

Por otro lado, el presente proyecto se enfoca en el dimensionamiento del fermentador tipo Batch, sea que trabaje como parte de la línea o individualmente por lo que como primer paso para llegar a realizar el diseñar el equipo fermentador, se realizó una experimentación a escala de laboratorio partiendo desde donde se llegó a obtener las variables del proceso como se muestra en la Tabla 12-3. Siendo la principal variable la alimentación del mosto, además del tiempo de fermentación, las cepas seleccionadas, el pH inicial y la temperatura. Muy similar al proceso de los autores (Avendaño Arguello y Escobar Hitscherich 2017), quien menciona en su estudio de implementación de la alternativa de mejora en proceso de producción de cerveza artesanal Tipo Ale en la empresa Green Hops, las variables a controlar en su proceso es la temperatura y presión fundamentalmente.

El mosto que entra al fermentador cuenta con pH de 4,53; densidad de $1052 \frac{Kg}{m^3}$, Brix de 11,9 y un volumen de 60L. El dimensionamiento se realizó mediante el código ASME especialmente con la sección VIII División 1. Que determina las reglas de construcción para recipientes a presión, es así que se determina la presión que se va a ejercer dentro del equipo y el grosor de la lámina de acero inoxidable a usarse. En comparación con otro autor como (Merelo Espinar y Zuñiga Tapia 2013) donde el fermentador se lleva a cabo con plástico de grado alimenticio al tener una producción de 38 litros. Por otro lado, también se debe acatar que el diseño del fermentador en el presente proyecto es de forma cónica en su inferior, cilíndrica en la zona media y en la parte superior elisoidal, a diferencia de otros autores que lo realizan una forma cilíndrica. Además, que se cuenta con un aislamiento de espesor de 0,045m y un sistema de refrigeración que logra mantener la fermentación en un rango de 18 y 22°C, siendo así que este sistema cuenta un COP_R de 8,25. Por último se cuenta con un sistema de agitación manual que cuenta con paletas planas de 90°.

El costo de construcción del tanque de fermentador con una capacidad máxima de 60 litros es de 1605,85 dólares, mientras que las marmitas previas a la etapa de fermentación encargadas de realizar el proceso de macerado, lavado, cocción, filtrado y enfriado del mosto tiene un costo de 1,252 dólares, y por último el tanque o equipo de carbonatación cuenta con un costo de 1500 dólares, cabe recalcar que en el mercado el costo de construcción de un equipo de 42 litros o 100 litros de capacidad de producción es el mismo, siendo el principal motivo de la elección del de menor capacidad el espacio disponible en el laboratorio de Procesos Industriales donde se va a realizar la instalación. Además, que el costo de la producción por lote es menor, siendo este una

parte fundamental al tratarse de un equipo que sirve para la experimentación y desarrollo de habilidades de los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente de la Facultad de Ciencias. Donde el costo de producción de la bebida alcohólica es de 50,48 dólares para producir 42 litros de cerveza, y si se desea embotellar la misma tiene un costo adicional de 47,36 dólares correspondiente a envases de vidrio ámbar adecuadas para este tipo de producto.

Si bien es cierto, el producto obtenido en el presente proyecto es cerveza artesanal tipo Ale o de fermentación alta, la misma que posterior de se lleva a una caracterización físico-química y microbiológica, de la cual sus resultados dentro de los parámetros especificados en la norma INEN 2262, teniendo como resultados un contenido alcohólico de 8,5; pH de 4,41; microorganismos anaerobios de $8 \frac{ufc}{cm^3}$ y, mohos y levaduras de $9 \frac{up}{cm^3}$. El porcentaje alcohólico se puede variar según el tipo de cerveza que se desea obtener, tal es así que en su estudio (Villegas 2013) menciona que para poder obtener una cerveza tipo Lager se debe realizar una fermentación baja, es decir, temperatura entre 2-10°C. En ambos casos el análisis microbiológico debe estar dentro de la norma al ser un producto de consumo humano.

CONCLUSIONES

- Para llegar a realizar el dimensionamiento del equipo fermentador Batch se identificaron las principales variables las cuales fueron: volumen, tiempo de fermentación y temperatura. Además, se consideró parámetros de control del mosto en la etapa inicial del proceso tal como el pH, las cepas seleccionadas según el tipo de cerveza que se desea obtener y densidad, mientras que los parámetros finales considerados para la obtención de la cerveza madurada y previa a la etapa de carbonatación son la concentración de etanol, pH y grados brix de la cerveza sin carbonatar.
- Con el dimensionamiento del fermentador los cálculos ingenieriles, se resumen a: volumen de diseño de 69 L, diámetro interno de 0,35m, cuenta con una altura de 0,86m desde la parte inferior del cono hasta la parte superior de la parte elipsoidal, donde además se encuentra el airlock. Por otro lado, el sistema de agitación manual cuenta dimensiones tales como de las paletas planas de agitación con un ancho de 0,075m; alto de 0,037m y una longitud de brazo de 0,62m. El sistema de enfriamiento trabaja con refrigerante 304^a y una bomba de ¼ HP. El material seleccionado para la construcción del equipo de fermentación es acero inoxidable, debido a que prepara un producto de consumo humano.
- Una vez diseñado el equipo fermentador tipo Batch este va a trabajar en conjunto con los equipos que forman parte de la línea de producción de cerveza artesanal al poner en marcha dicha línea se validó tanto en su funcionamiento con la obtención del producto como en su estructura de diseño y construcción, dando paso a la entrega e instalación en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias. Logrando que el laboratorio cuente con una nueva línea de producción para prácticas e investigación que harán uso estudiantes y docentes de la institución.
- El diseño y construcción del equipo se encuentra bajo el código ASME, en el cual se produce cerveza artesanal dentro del mismo, además de contar con las normativas que aseguren así su funcionalidad y obtención de un producto de calidad, se tiene en cuenta que el tiempo de fermentación es de 9 días, donde existe un cambio de pH, densidad, grados brix y un aumento de grado alcohólico al convertirse los azúcares contenidos en el mosto hasta la formación de alcohol étlico. Adicionalmente el producto obtenido cumple con la normativa NTE INEN 2262 BEBIDAS ALCOHOLICAS. CERVEZA. REQUISITOS

RECOMENDACIONES

- Previo a la utilización del equipo se debe realizar la limpieza del mismo mediante detergente bactericida-fungicida sin olor, para que no exista una contaminación cruzada, además de evitar la formación de microorganismos perjudiciales para el proceso de fermentación.
- Realizar periódicamente el mantenimiento preventivo en la línea de producción. Para que con el pasar del tiempo no tengas grandes daños que ocasionen que los equipos queden en desuso.
- Sería de interés la elaboración de un proyecto que aporte a la línea de producción un sistema de control automático, donde se pueda programar perfiles de temperatura en las etapas que lo necesitan, así como el tiempo y cantidad de adición de CO₂ en la cerveza en la etapa de carbonatación.
- Desarrollar investigaciones respecto a tiempos de fermentación y maduración de diferentes tipos de cerveza, sea de baja o alta fermentación, con la adición de diferentes cebadas y levaduras, con finalidad de promover la investigación académica.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA SUÁREZ, A.N. & ACURIO GARAY, C.A. Diseño de una línea de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Quevedo para consumo directo [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, 2015. pp. 30-45. [Consulta: 2020-08-24]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2925/1/T-UTEQ-0051.pdf>.

ALBURQUEQUE, H., et al. Diseño de proceso productivo de cerveza artesanal a base de uva. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Píura. Peru, 2018. pp. 123. [Consulta: 2020-09-22]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3614/PYT_Informe_Final_Proyecto_Cerveza_de_uva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARROYO LLUEN, J., 2019. Diseño de un proceso de producción de cerveza artesanal de maracuyá [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Píura. Peru, 2019. pp. 24-29. [Consulta: 2021-01-18]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4098/ING_630.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

AVENDAÑO ARGUELLO, L. & ESCOBAR HITSCHERICH, M. Implementación de la alternativa de mejora en el proceso de producción de la cerveza artesanal tipo ale en la Empresa Green Hops [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Fundación Universidad de América. Colombia. 2017. [Consulta: 2020-12-18]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6579/1/6102536-2017-2-IQ.pdf>.

BRIONES CEDEÑO, G.J. & ALONZO MENDOZA, J. Evaluación Físicoquímica Y Sensorial De Cerveza Artesanal Tipo Ale Con Almidón De Papa Como Adjunto Y Especies [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Ecuador. 2016. [Consulta: 2020-12-12]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/552/1/TAI109.pdf>.

CALAPUCHA LICUY, G.R.. Elaboración artesanal de cerveza utilizando como complemento de sabor la fruta ancestral chontaduro (*bactris gasipaes*), en la comunidad Wamani, Cantón Archidona [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Regional Autónoma de los Andes. Ecuador. 2019. [Consulta: 2021-01-12]. Disponible en: <http://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/9862/1/PIUAESC004-2019.pdf>.

CALVILLO, E. “La Cerveza Artesanal Una experiencia multisensorial”. *Deloitte* [en línea], 2017, (España), 125(1), pp. 32. [Consulta: 2021-02-12]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/consumer-business/2017/Cerveza-Artesanal-Mexico-2017.pdf>.

CARVAJAL MARTÍNEZ, L.D. & INSUASTI ANDRADE, M.A. Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) y yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte. Ecuador. 2010. [Consulta: 2021-02-12]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/558/1/03_AGI_256_TESIS.pdf.

CHIQUITO CÁRDENAS, C.G. & HERMENEJILDO AVENDAÑO, J.D. 2018. Estudio Gastronómico de la Cerveza Artesanal en la ciudad de Guayaquil (Aspectos económicos, culturales y culinarios [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Guayaquil. Ecuador. 2018. [Consulta: 2020-11-02]. Disponible en: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35833/1/TESIS_Gs_289_-_Estudio_de_la_Cerveza_Artesanal.pdf.

CRUZ DAZA, E.L. & MEYER SANCHEZ, L.M. Evaluación de la reutilización de levadura *saccharomyces cerevisiae* para la implementación en un segundo proceso fermentativo de la cerveza tipo pale ale belga producida en la Cervecería Moonshine [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Fundación Universidad de América. Ecuador. 2019. [Consulta: 2021-01-02]. Disponible en: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERP_USAT_STRATEGI_MELESTARI.

FERREYRA, L. Elaboración de cerveza : Historia y evolución , desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería), Argentina, 2014, pp. 1-69. . [Consulta: 2020-09-23]. Disponible en: <http://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf>.

GALARZA VERA, A.E. Elaboración de cerveza amber ale de alta fermentación saborizada y aromatizada con frutas y plantas aromáticas ecuatorianas [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador. Ecuador, 2018, pp. 13-18. [Consulta: 2020-09-23]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15790/1/T-UCE-0008-CQU-015.pdf>.

GARDUÑO GARCÍA, A, et al. “Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal”. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* [en línea], 2014, (Colombia) 15(2), pp. 221-232. ISSN 14057743. DOI 10.1016/s1405-7743(14)72212-7.

IICA. “Industria de la cerveza”. [en línea], 1999. (Perú) 124(3), pp. 1-40. [Consulta: 2020-09-23]. ISSN 1561-9834. Disponible en: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.

Nte Inen 2262. *Primera Revisión 2013-11* [en línea], pp. 1-9. [Consulta: 2020-09-23]. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2262-1.pdf.

MARTINEZ HERNÁNDEZ, V. Prediseño de una micro planta cervecera artesanal [en línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Instituto Politécnico Nacional, Ecuador, 2008, pp 15-19. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: <http://www.cic.ipn.mx/sitioCIC/images/sources/cic/tesis/B020892.pdf>.

MASSA, J. & GIUDICI, A. “Recipientes de presión”. *Compendio de Cálculo Estructural II - FCEfyN-UNC* [en línea], 2015, 2(1), pp. 371-397. [Consulta: 2021-02-26]. Disponible en: http://www.cat.calc_est_2_im.efn.uncor.edu/wp-content/uploads/2013/10/Cap-16_RECIPIENTES_Parte-1.pdf.

MERELO ESPINAR, G.R. & ZUÑIGA TAPIA, J.G., 2013. Cerveza artesanal [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Guayaquil. Ecuador, 2013, pp.32-25. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6579/1/6102536-2017-2-IQ.pdf>.

MORALES-TOYO, M. “Reacciones químicas en la cerveza”. *Revista de Química*, vol. 32, no. 1 (2018), (España) pp. 4-11.

NEYRA NAVARRO, S.Z., TRIGOSO SAAVEDRA, J.A. & SANTA MARÍA LOMAS, N.S. 2013. *Diseño-construcción e instalación de tanque agitador* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Perú. 2013. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1962/T-660-N51-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

OKAFOR, N. y IWOUNO, J. “Malting and brewing qualities of some Nigerian rice (*Oryza sativa* L.) varieties and some thoughts on the assessment of malts from tropical cereals”. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, vol. 6, no. 2 (1990). (United State of America) pp. 187-194. ISSN 09593993. DOI 10.1007/BF01200940.

PILLIGUA CHILÁN, L.I. Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Quito, Ecuador. 2018. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/12186/3/FARIAS MEZA JUAN CARLOS.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/12186/3/FARIAS_MEZA_JUAN_CARLOS.pdf).

RAMIRO, J. “Cinética Química”. [en línea], 2009, (Colombia) 35(2), pp. 14. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: https://proyectodescartes.org/uudd/materiales_didacticos/cinetica_quimica-JS/pdf/cinetica.pdf.

RIOS CÁCERES, D. “Diseño de un sistema de Fermentación para la Elaboracion de 100 litros de Chicha de Jora”, vol. 96 (2013), (Mexico) pp. 179-200.

RODRIGUEZ CRUZ, W.E. “Efecto de la sustitución de cebada (*Hordeum vulgare*) por quinua (*Chenopodium quinoa*) u del pH inicial de maceración en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una cerveza tipo Ale”. (2015) pp. 1-84.

RUBÉN SANCHO SAURINA. Diseño de una micro-planta de fabricación de cerveza y estudio de técnicas y procesos de producción. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universitat Poltècnica De Catalunya, España. 2015. pp. 121. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76575/02_Memoria.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

SORIA, J. Diseño de un proceso industrial para la elaboración de cerveza artesanal a base de cebada (*Hordeum Vulgare*) y cacao de fino aroma (*Theobroma Cacao*)” [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2017. Pp.25-34. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Diseño-de-un-proceso-industrial-para-la-elaboración-Ludisaca-Alfredo/aba579e90b7745cfe58bf22c382bb413e7b77690>.

VILLEGAS, L.M. Reingeniería de la planta de cerveza artesanal cherusker [en línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013. [Consulta: 2021-06-23]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2185/1/T-UCE-0017-51.pdf>.

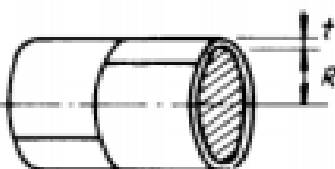
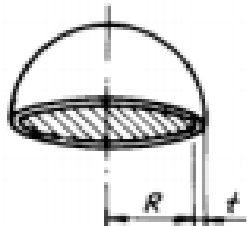
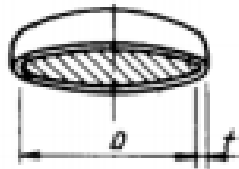
ANEXOS

ANEXO A. Fórmulas expresadas en función de las dimensiones internas (presión interna)

PRESION INTERNA

FORMULAS EXPRESADAS EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES INTERIORES

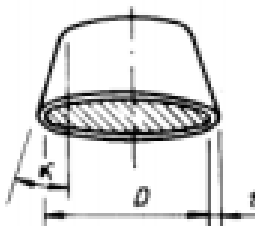
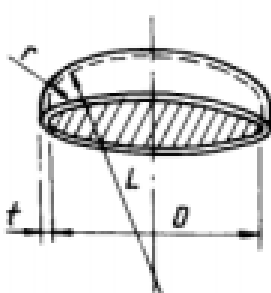
- P** = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, lb/pulg²
S = Valor del esfuerzo del material, lb/pulg², página 159
E = Eficiencia de la junta, página 142
R = Radio interior, pulgadas
D = Diámetro interior, pulgadas
t = Espesor de pared, pulgadas
C.A. = Margen por corrosión, pulgadas

<p>A</p> 	<p style="text-align: center;">CASCO CILINDRICO (COSTURA LONGIT.)¹</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; padding: 10px;"> $t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$ </td> <td style="width: 50%; text-align: center; padding: 10px;"> $P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$ </td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generalmente rige el esfuerzo en la costura longitudinal. Ver página anterior. 2. Cuando el espesor de pared exceda de la mitad del radio interior o P exceda de 0.385 SE, se aplicarán las fórmulas dadas en el Apéndice del Código, 1-2. 	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$
$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$		
<p>B</p> 	<p style="text-align: center;">ESFERA Y CABEZA HEMISFERICO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; padding: 10px;"> $t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ </td> <td style="width: 50%; text-align: center; padding: 10px;"> $P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$ </td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para las cabezas sin brida recta, úsese la eficiencia de la junta de la cabeza al casco si es menor que la eficiencia de las costuras de la cabeza. 2. Cuando el espesor de pared exceda de 0.356 R, o P exceda de 0.665 SE, se aplicarán las fórmulas dadas en el Apéndice 1-3 de las normas. 	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$
$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$		
<p>C</p> 	<p style="text-align: center;">CABEZA ELIPSOIDAL 2:1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center; padding: 10px;"> $t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$ </td> <td style="width: 50%; text-align: center; padding: 10px;"> $P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$ </td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para las cabezas elipsoidales cuya relación del eje mayor al eje menor sea diferente de 2:1, véase el Apéndice 1-4 (c) de las normas. 	$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$
$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$		

PRESION INTERNA

FORMULAS EXPRESADAS EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES INTERIORES


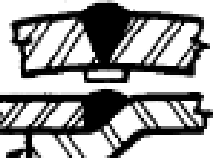




P = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, lb/pulg²
S = Valor de esfuerzo del material, lb/pulg², página 159
E = Eficiencia de la junta, página 142
R = Radio interior, pulgadas
D = Diámetro interior, pulgadas
 α = La mitad del ángulo en el vértice, grados
L = Radio interior del casquete, pulgadas
r = Radio interior de las curvaturas, pulgadas
t = Espesor de pared, pulgadas
C.A. = Margen por corrosión, pulgadas

D	CONO Y SECCION CONICA																
	$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$	$P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$															
	1. La mitad del ángulo en el vértice, α no mayor de 30° 2. Cuando α es mayor de 30°, se requiere un análisis especial (Apéndice 1-5(e) del Código)																
E	CABEZA ASME BRIDADA Y ALABEADA (CABEZA TORISFERICA)																
	Cuando $L/r = 16 \frac{2}{3}$																
	$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P}$	$P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t}$															
	Cuando L/r menor de 16 2/3																
	$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t}$															
VALORES DEL FACTOR "M"																	
L/r	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39
L/r	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16 $\frac{2}{3}$	*
M	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	
* LA MAXIMA RAZON PERMITIDA ES: $L = D + 2t$ (véase la nota 2 de la página opuesta)																	

ANEXO B. Tabla para el cálculo de valores máximos de esfuerzos permitidos

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE													
P-No. 8 Grupo No. 1													
TABLA 1							TABLA 3						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia mín. 30 000 lb/pulg ² Tensión mín. 75 000 lb/pulg ²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia mín. 30 000 lb/pulg ² Tensión mín. 75 000 lb/pulg ²	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304	2 3				Placa	SA-240	316	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304	2				Placa	SA-240	317	2 3	
		Tubo s/c	SA-213	TP304H	—				Tubo s/c	SA-213	TP316	2	
		Tubo s/c	SA-312	TP304	2				Tubo s/c	SA-213	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	TP316	2	
		Tubo s/c	SA-376	TP304	2				Tubo s/c	SA-312	TP316H	—	
		Tubo s/c	SA-376	TP304H	—				Tubo s/c	SA-312	317	2	
		Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—				Tubo s/c	SA-376	TP316	2	
		Forj.	SA-182	F304	2				Tubo s/c	SA-376	TP316H	—	
Forj.	SA-182	F304H	—		Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—					
Barra	SA-479	304	2 3 5		Forj.	SA-182	F316	2					
					Forj.	SA-182	F316H	—					
					Barra	SA-479	316	2 3 5					
TABLA 2							TABLA 4						
COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas		COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo.	Cedencia 25 000 Tensión 70 000	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	
		Placa	SA-240	304L	—				Placa	SA-240	316L	—	
		Tubo s/c	SA-213	TP304L	—				Tubo s/c	SA-213	TP316L	—	
		Tubo s/c	SA-312	TP304L	—				Tubo s/c	SA-312	TP316L	—	
		Forj.	SA-182	F304L	—				Forj.	SA-182	F316L	4	
		Barra	SA-479	304L	5				Barra	SA-479	316L	5	
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg ²													
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												NOTAS
	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.3	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.3	14.4	13.3	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	—	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
MATERIALES DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												NOTAS
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	
1	14.4	13.4	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	
NOTAS													
1. Estos valores de esfuerzo mayores exceden en 2/3, pero no exceden del 90% de la resistencia a la cedencia a tal temperatura. El uso de estos valores puede producir cambios dimensionales debidos a la deformación permanente. No se recomiendan estos valores de esfuerzo para bridas ni juntas empacadas ni en otras aplicaciones en las que una deformación ligera pueda ocasionar fuga o mal funcionamiento.													
2. A temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo se aplican solamente cuando se tiene 0.04% de carbono o más.													
3. Para temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo pueden usarse sólo si el material se trata firmemente, calentándolo a una temperatura mínima de 1 900°F y enfriándolo rápidamente en agua o por algún otro medio.													
4. Resistencia mínima especificada a tensión, 65 000 lb/pulg ² .													
5. El uso de tablas de presión externa para el material en forma de barra de medidas estándares se permite únicamente para ánchura anulares.													


ANEXO C. Tabla para la determinación de la eficiencia de la soldadura en función del tipo de junta.

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:		
TIPOS NORMA UW-12		a. Radiografiada totalmente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

ANEXO E. Velocidad de reacción

Teórica				
Tiempo		concentración de alcohol	desaparición a	aparición b
0	0	0,69	0,83066239	1,5876
8	0,0332	0,7232	0,85041167	1,5544
16	0,0664	0,7564	0,8697126	1,5212
24	0,0996	0,7896	0,8885944	1,488
32	0,1328	0,8228	0,90708324	1,4548
40	0,166	0,856	0,92520268	1,4216
48	0,1992	0,8892	0,94297402	1,3884
56	0,2324	0,9224	0,96041658	1,3552
64	0,2656	0,9556	0,97754795	1,322
72	0,2988	0,9888	0,99438423	1,2888
80	0,332	1,022	1,01094016	1,2556
88	0,3652	1,0552	1,02722928	1,2224
96	0,3984	1,0884	1,04326411	1,1892
104	0,4316	1,1216	1,05905618	1,156
112	0,4648	1,1548	1,07461621	1,1228
120	0,498	1,188	1,08995413	1,0896
128	0,5312	1,2212	1,10507918	1,0564
136	0,5644	1,2544	1,12	1,0232
144	0,5976	1,2876	1,13472464	0,99
152	0,6308	1,3208	1,14926063	0,9568
160	0,664	1,354	1,16361506	0,9236
168	0,6972	1,3872	1,17779455	0,8904
176	0,7304	1,4204	1,19180535	0,8572
184	0,7636	1,4536	1,20565335	0,824
192	0,7968	1,4868	1,21934409	0,7908
200	0,83	1,52	1,2328828	0,7576
208	0,8632	1,5532	1,24627445	0,7244
216	0,8964	1,5864	1,25952372	0,6912
224	0,9296	1,6196	1,27263506	0,658
232	0,9628	1,6528	1,28561269	0,6248
240	0,996	1,686	1,29846063	0,5916
248	1,0292	1,7192	1,31118267	0,5584
256	1,0624	1,7524	1,32378246	0,5252
264	1,0956	1,7856	1,33626345	0,492
272	1,1288	1,8188	1,34862893	0,4588
280	1,162	1,852	1,36088207	0,4256
288	1,1952	1,8852	1,37302586	0,3924
296	1,2284	1,9184	1,38506318	0,3592
304	1,2616	1,9516	1,39699678	0,326
312	1,2948	1,9848	1,4088293	0,2928

ANEXO F. Factura de la construcción del fermentador



TECNI METAL INOX
RUC.: 1717806903001
Luis Maldonado
* REPARACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS EN ACERO INOXIDABLE
* SERVICIO DE SUELDA ESPECIALIZADA
Dir.: Av. Quito Diagonal al Sueño de Bolívar / Telf.: 0983 238 850
Santo Domingo - Ecuador

ORDEN DE TRABAJO

0000157

FECHA DE EMISIÓN

DIA	MES	AÑO

Cliente:.....

Dirección:.....

R.U.C.:..... Teléfono:.....

CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNIT.	V. TOTAL
1	fermentador capacidad 40 Litro		1.238
1	unidad de enfriamiento motor HS		45
1	cañería de cobre 5/16	25	25
1	condensador	70	70
1	ventilador	18	18
1	filtro hercules	10	10
2	Kilos de poliuretano liquido	9	18
4	valvulas de 3/4	5	20
2	pernos de 1/2	1	2
2	neopros de 3/4	2	4
1	Tubo vedondo de 1 1/2	50	50

VALOR \$	1500
ABONO \$	
SALDO \$	
FECHA DE ENTREGA	

Firma Autorizada

Recibi Conforme

ORIGINAL: CUENTE / COPIA EMISOR

Impreso por Imprenta Yamajua - Telf.: 0988865615 - Numeración: 0000101-0000200

ANEXO G. Análisis físicos-químicos y microbiológicos



EXAMEN BROMATOLOGICO Y MICROBIOLOGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO: 149-21

CLIENTE: Paola Córdova
TIPO DE MUESTRA: Cerveza
FECHA DE RECEPCIÓN: 02 de marzo del 2021
FECHA DE MUESTREO: 02 de marzo del 2021
EXAMEN FISICO
COLOR: Característico
OLOR: Característico
ASPECTO: Normal, libre de material extraño

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Grados alcohólicos	%	INEN 2322	8,5
Acidez expresado como ácido láctico	%	INEN 2323	0,31
pH	Unid	INEN 2325	4,41
Hierro	mg/L	INEN 2326	0,10
Plomo	mg/L	INEN 2330	0,016
Arsénico	mg/L	INEN 2329	<0,4
Zinc	mg/L	INEN 2328	0,33
Cobre	mg/L	INEN 2327	0,1
Anaerobios mesófilos	UFC / mL	Siembra en masa	8
Mohos y levaduras	UFC / mL	Siembra en masa	0

RESPONSABLE:

Dra. Gina Álvarez R.



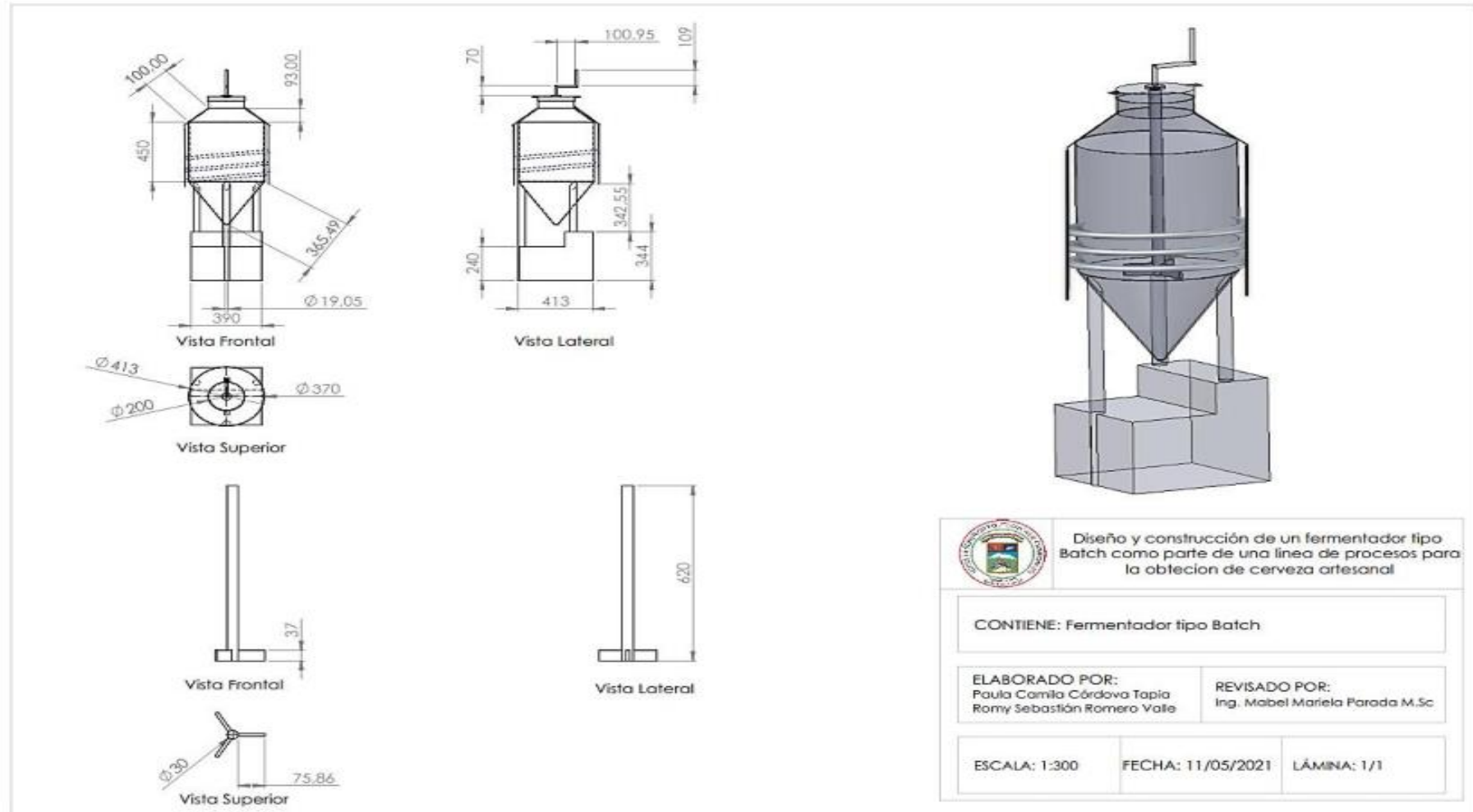
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

*La muestra es receptada en laboratorio.

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Millon Reyes
Contactanos: 0998580374 - 032 942 322
Riobamba - Ecuador

Escaneado con CamScanner

ANEXO H. Planos del fermentador



Diseño y construcción de un fermentador tipo Batch como parte de una línea de procesos para la obtención de cerveza artesanal

CONTIENE: Fermentador tipo Batch

ELABORADO POR:
Paula Camila Córdova Tapia
Romy Sebastián Romero Valle

REVISADO POR:
Ing. Mabel Mariela Parada M.Sc

ESCALA: 1:300

FECHA: 11/05/2021

LÁMINA: 1/1

ANEXO I. Entrega del equipo fermentador



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

Oficio No. 03. D.FC.2021
Riobamba, 26 de agosto de 2021

Ingenieros
COMISIÓN DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
Presente.

De mi consideración:

Con un cordial saludo, mediante la presente me permito indicar que los estudiantes: Paula Camila Córdova Tapia y Romy Sebastián Romero Valle con CI. 060418382-2 y 060417885-5 de la Carrera de Ingeniería Química realizaron la entrega del equipo Fermentador tipo Batch, así como los manuales y documentos requeridos para el laboratorio de procesos Industriales, el cual se recibe en óptimas condiciones y fue previamente validado por su comisión como parte del trabajo de titulación denominado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FERMENTADOR TIPO BATCH, COMO PARTE DE UNA LÍNEA DE PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL".

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

Atentamente,



CARLA VIVIANA
HARO
VELASTEGUI

Ing. Carla Haro
TÉCNICO DE LABORATORIO

c.c. Estudiantes





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 08 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Paula Camila Córdova Tapia</i> <i>Rosy Sebastián Romero Valle</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Nuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Número de certificación: 201611011
e-BANCO (2016) No. 138. 37.04008
por ENTIDAD DE CERTIFICACIÓN DE
REPÚBLICA ECUATORIA - QUINCY
www.Fundacion-DBRA.org.ec
www.CORREO@DBRA-UTP-2021
Fecha: 2021.08.20 11:01:17 -0500



1590-DBRA-UTP-2021