



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE UNA DESTILADORA INDUSTRIAL DE ALCOHOL

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial

Autores:

Mauricio Javier Avilés Vargas.

Jonathan Xavier Días Toaquiza.

Tutor:

Lilia Teonila Cervantes Rodríguez

Latacunga – Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Mauricio Javier Avilés Vargas y Jonathan Xavier Días Toaquiza declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**Diseño de una destiladora industrial de alcohol**” Siendo la Ing. MSc. Lilia Teonila Cervantes Rodríguez tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Mauricio Javier Avilés Vargas

C.C: 050334029-1

Jonathan Xavier Días Toaquiza

C.C: 175238369-3

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Diseño de una destiladora industrial de alcohol”, de **Mauricio Javier Avilés Vargas** y **Jonathan Xavier Días Toaquiza**, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto de 2021

El Tutor

Ing. MSc. Lilia Teonila Cervantes Rodríguez

C.C: 175727437-6

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la carrera de Ingeniería Industrial; por lo cual, el o los postulantes: **Mauricio Javier Aviles Vargas**, con cedula de ciudadanía N° **050334029-1** y **Jonathan Xavier Días Toaqui** con cedula de ciudadanía N° **175238369-3** con el título de Proyecto de titulación: “**DISEÑO DE UNA DESTILADORA INDUSTRIAL DE ALCOHOL**” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto de 2021

Para constancia firman:

Atentamente,

Lector 1 (Presidente)

Ing. Jorge David Freire Samaniego MSc.

CC: 050262481-0

Lector 2

Ing. Benjamín Belisario Chávez Ríos MSc.

CC: 171676037-4

Lector 3

Ing. Milton Eduardo Herrera Tapia MSc.

CC: 050150331-2

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios, a mis padres y a la vida por haberme dado la oportunidad de lograr mi objetivo. Agradezco también a mis hermanos, por haber colaborado sin medida en tan ardua tarea.

Mauricio Aviles

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, Agradecerte Dios por haberme cuidado, guiado, dándome fuerza valor y sabiduría durante todo mi trayecto Universitario.

A mi familia, amigos, en especial a mi Madre, porque con su apoyo moral y concejos ayudaron a no caer pese a momentos buenos y malos, siempre estuvieron ahí ayudándome a seguir en adelante y poder culminar mí meta.

Y lo último y no menos importante, quiero agradecerme por creer en mí, por trabajar duro, agradecerme por no darme por vencido, porque puede haber concejos y ánimos, pero si yo no hacia ese esfuerzo necesario esto no se hubiera hecho realidad.

Jonathan Días

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación a mi madrecita que ha hecho mucho esfuerzo para sacarnos adelante a mí y a mis hermanos, y ahora le voy a otorgar mucha felicidad al verme graduado.

Mauricio Aviles

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón y amor este proyecto a mi madre, sin ella nada de esto se hubiera logrado. Tus regaños, concejos diarios valieron la pena a lo largo de mi vida que me llevo por el camino del bien, por eso te dedico este proyecto en ofrenda por tu paciencia y amor que siempre me das madre mía, te amo.

A ti, tío Camilo Días por ser como un padre para mí, como te lo he dicho muchas veces. Por darme ese empuje para hacer realidad mis metas, con esa alegría y coraje que me brindas un dios le pague.

Jonathan Días

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN	ii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
6. OBJETIVOS.....	7
6.1 Objetivo General:	7
6.2 Objetivos Específicos:	7
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	8
8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	11
8.1 Agave americana. Usos en procesos fermentativos para la producción de alcohol.....	11
8.1.1 Características del agave americana	11

8.1.2 Técnicas de cultivo del agave americana.....	12
8.1.3 Propagación reproductiva del agave americana.....	12
8.1.4 Usos del agave americana.....	12
8.1.5 Agave americana y sus beneficios	13
8.1.5.1 Beneficios del agave americana.....	15
8.2 Fermentación alcohólica.....	16
8.2.1 Temperatura de fermentación del agave americana.....	17
8.2.2 Tiempo de fermentación del agave americana	17
8.2.3 Influencia del pH en el proceso de fermentación alcohólica	18
8.2.4 Tipos de fermentación alcohólica.....	18
8.3 Destilación alcohólica	19
8.3.1 Tipos de destilación.....	20
8.3.2 Tecnologías en escala industrial para la obtención de alcohol etílico.	21
8.3.2.1 Sistema de fermentadores cónicos de acero inoxidable para etanol.	21
8.4 Etanol	22
8.4.1 Características del etanol	23
8.4.2 Propiedades físicas y químicas del etanol	23
8.4.4 Principales productos para la elaboración de etanol	25
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS	25
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	25
10.1 Tipo de investigación utilizada.....	25
10.2. Métodos y técnicas utilizadas	26
10.2.1 Métodos de investigación	26
10.2.2 Técnicas de Investigación.....	27
11. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	28
11.1 Caracterización del proceso fermentativo para la obtención del alcohol etílico.....	28
11.2 Requerimientos técnicos para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	28
11.2.1 Diseño de la cámara de ebullición de la destiladora industrial de alcohol etílico.....	29
11.2.2 Diseño del intercambiador de calor para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	37
11.2.3 Tuberías y accesorios para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	44

11.3 Selección de las resistencias eléctricas para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	45
11.4 Dimensionamiento de la bomba de agua para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	48
11.5 Diseño del tanque reservorio de agua para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	49
11.6 Manómetro analógico para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	55
11.7 Medidor de temperatura Analógico para el diseño de una destiladora de alcohol etílico	56
11.8 Sensor de nivel para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	57
11.9 Trasmisor de temperatura termocupla Tipo K para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico	57
11.10 Siemens LOGO 12/24RCE con display - 6ED1052-1MD08-0BA1 V8.3	58
12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	59
12.1 Diseño CAD del sistema de la destiladora industrial de alcohol etílico	60
12.2 Diagrama P&ID de la destiladora industrial de alcohol.	60
12.3 Procesos para la obtención de alcohol etílico a escala industrial por fermentación del agave americana	61
12.4 Diagrama De Flujo Del Proceso De Destilación Alcohólica	63
12.5 Parámetro de control necesario para el desarrollo del proceso de destilación alcohólica	63
13. Impactos Técnicos, Sociales Y Económicos	64
14. Valoración económica y/o presupuesto para implementar la propuesta del proyecto	64
15. Conclusiones	67
16. Recomendaciones	68
17. BIBLIOGRAFÍA	68
17. ANEXOS	72
ANEXO B. Características de la tubería de cobre	75
ANEXO C. Propiedades del acero inoxidable	76
ANEXO D. Viscosidad del agua dependiendo de la temperatura de trabajo	77
ANEXO E. Tablas de propiedades del agua	77
ANEXO F. Propiedades de ebullición y de congelación	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de Beneficiarios Directos	5
Tabla 2. Tabla de Beneficiarios.....	5
Tabla 3. Actividades de los Objetivos planteados.....	8
Tabla 4. Características de la agave americana	12
Tabla 5: Factores organolepticos	15
Tabla 6: Información nutricional.....	15
Tabla 7: Características técnicas del fermentador cónico de acero inoxidable para etanol.	22
Tabla 8. Fórmulas para calcular los valores de espesor y presión de diseño para tanques a presión	31
Tabla 9. factores de seguridad recomendados.....	32
Tabla 10. Propiedades mecánicas del AISI 304.....	32
Tabla 11. Eficiencias de las juntas.....	34
Tabla 12. Características de materiales de la cámara de ebullición.....	36
Tabla 13. Características de tubería de cobre 12.7 mm y ½”.....	44
Tabla 14. Características mecánicas de tubería de acero AISI 304 de 38 mm.....	45
Tabla 15. Características de la resistencia eléctrica.....	45
Tabla 16. Valores de presión en estado de saturación.....	49
Tabla 17. Características técnicas del manómetro tipo A.....	56
Tabla 18. Características técnicas del Termómetro a cadran horizontal.....	57
Tabla 19. Características del sensor de nivel.....	57
Tabla 20. Características técnicas termocupla tipo K.....	58
Tabla 21. Presupuesto de la destiladora industrial de alcohol.....	65
Tabla 22. Costos de producción diaria de la destiladora industrial de alcohol.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Extracción del chaguarmishqui	14
Figura 2. Planta de producción mexicana de tequila José Cuervo.	15
Figura 3. Esquema de fermentación alcohólica y glucólisis.	17
Figura 4. Proceso de destilación simple.	20
Figura 5. Destiladora fraccionada.....	20
Figura 6. Destilación a vacío.	21
Figura 7. Fermentador cónico de acero inoxidable para etanol.....	22
Figura 8. Partes de una destiladora industrial.....	29
Figura 9. Cámara de ebullición.	31
Figura 10. Clases de soldadura.....	33
Figura 11. Tanque de la cámara de ebullición.....	37
Figura 12. Tapa de la cámara de ebullición.....	37
Figura 13. Diseño del intercambiador.	38
Figura 14. Variación de la temperatura del condensador.	41
Figura 15. Modelo del intercambiador de calor mediante serpentín.	43
Figura 16. Tipo circular de la resistencia eléctrica.....	46
Figura 17. Características técnicas de la bomba Serie NIZA Turbina Inox.....	49
Figura 18. Manómetro Analógico.	56
Figura 19. Termómetro a Cadran Horizontal De 63 mm , 0-120 °C.....	56
Figura 20. Sensor De Nivel Capacitivo Nc, 24vdc.	57
Figura 21. Termocupla tipo K.	58
Figura 22. Siemens LOGO 12/24RCE con display.....	59
Figura 23. Ensamble del sistema de destiladora de alcohol etílico.	60
Figura 24. Diagrama P&ID de la destiladora industrial de alcohol.....	61
Figura 25. Diagrama de flujo para la obtención de alcohol etílico.....	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo de altura en la cámara de ebullición	29
Ecuación 2: Cálculo Volumen real.....	30
Ecuación 3: Cálculo de espesor del material.....	31
Ecuación 4: Cálculo esfuerzo permisible del material Aisi 304.....	33
Ecuación 5: Cálculo presión interna máxima de trabajo	34
Ecuación 6: Cálculo presión hidrostática del fluido	35
Ecuación 7: Cálculo calor latente en el intercambiador de calor	38
Ecuación 8: Cálculo calor sensible en el intercambiador de calor	39
Ecuación 9: Cálculo caudal másico de agua requerido	40
Ecuación 10: Cálculo DTML para condensación y enfriamiento	41
Ecuación 11: Cálculo área del serpentín	42
Ecuación 12: Cálculo longitud del serpentín.....	42
Ecuación 13: Cálculo número de vueltas del serpentín	42
Ecuación 14: Cálculo de potencia térmica del intercambiador de calor	43
Ecuación 15: Cálculo Resistencia a la convección	46
Ecuación 16: Cálculo velocidad de pérdida de calor.....	47
Ecuación 17: Cálculo área de la resistencia.....	47
Ecuación 18: Cálculo potencia de la resistencia.....	48
Ecuación 19: Cálculo potencia proporcionada al fluido.....	48
Ecuación 20: Cálculo presión de vapor saturado	50
Ecuación 21: Cálculo esfuerzo tangencial.....	50
Ecuación 22: Cálculo esfuerzo longitudinal.....	50
Ecuación 23: Cálculo esfuerzo de fluencia del material	51
Ecuación 24: Cálculo número de Reynolds	51
Ecuación 25: Cálculo coeficientes convectivos.....	52
Ecuación 26: Cálculo de entalpía	52
Ecuación 27: Cálculo temperatura real de la pared del condensador	52
Ecuación 28: Cálculo coeficiente convectivo de calor por enfriamiento	53
Ecuación 29: Cálculo tiempo de operación	53
Ecuación 30: Cálculo masa de vapor total de calentamiento	54
Ecuación 31: Cálculo tiempo de calentamiento para el rango establecido	54
Ecuación 32: Cálculo tiempo de extracción	55
Ecuación 33: Cálculo tiempo de todo el proceso	55

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: DISEÑO DE UNA DESTILADORA INDUSTRIAL DE ALCOHOL.

Autores: Aviles Vargas Mauricio Javier

Días Toaquiza Jonathan Xavier

Tutor: Ing. MSc. Lilia Cervantes Rodríguez

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño de una destiladora industrial para el proceso de destilación del alcohol etílico, como materia prima el extracto de la planta agave americana, con el propósito de reducir la problemática del poco equipamiento existente para el proceso de destilación y los altos costos que demanda su compra. Se realizó un diseño de una destiladora considerando materiales y equipos que existen en el mercado local a fin de reducir costo. El objetivo del proyecto de investigación es: Diseñar una destiladora industrial para la obtención de alcohol etílico a partir del fermento obtenido del agave americana. La metodología utilizada para el desarrollo de la propuesta es: el estudio de los tipos de destiladoras industriales, materiales adecuados para su construcción, propiedades y el proceso de destilación, se dimensionaron los parámetros técnicos con el software SolidWorks, que se fundamenta en el modelado, ensamblado de mecanismos y piezas mecánicas en 2D, 3D y la obtención de los planos de diseño. Se analizaron los parámetros de control del proceso de destilación y su relación con el sistema de bombeo para la recirculación del líquido dentro del intercambiador de calor. Los resultados son: En el diseño de acero inoxidable AISI 304 para una capacidad de 320 litros. Los costos de fabricación de 3273.67 dólares, mientras que una máquina con similares características y menor capacidad existentes en el mercado cuesta un tercio más del valor calculado.

Palabras claves: Destiladora, alcohol etílico, agave americana, diseño, propiedades, modelado

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: Design of industrial alcohol still.

Authors: Aviles Vargas Mauricio Javier

Days Toaquiza Jonathan Xavier

ABSTRACT

This project deals with the design of an industrial still for the ethyl alcohol distillation process, as raw material the extract of the American agave plant, to reduce the little existing equipment for the distillation process the high costs that its purchase demands. A still design was made considering materials and equipment available in the local market to reduce cost. The research project's objective is to design an industrial still to obtain ethyl alcohol from the ferment obtained from agave Americana. The methodology used for the development of the proposal is the study of the types of industrial stills, suitable materials for their construction, properties, and the distillation process while the technical parameters were dimensioned with the SolidWorks software, which is based on modeling, assembling mechanisms and mechanical parts in 2D, 3D and design drawings. The control parameters of the distillation process and their relationship with the pumping system for recirculation of the liquid within the heat exchanger were analyzed. The results are AISI 304 stainless steel design for a capacity of 320 liters; manufacturing costs \$ 3,273.67. In contrast, a machine with similar characteristics and lower capacity on the market costs a third more than the calculated value.

Keywords: Still, ethyl alcohol, agave Americana, design, properties, modeling.

AVAL DE TRADUCCIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto

DISEÑO DE UNA DESTILADORA INDUSTRIAL DE ALCOHOL

Fecha de inicio:

Abril 2021

Fecha de Finalización:

Agosto 2021.

Lugar de ejecución:

Cantón Latacunga / Provincia de Cotopaxi.

Facultad Académica que auspicia

Facultad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia:

Ingeniería Industrial.

Proyecto de investigación vinculado:

No aplica

Equipo de Trabajo:

Tutor:

Ing. MSc. Lilia Cervantes Rodríguez

Autores:

Sr. Mauricio Javier Avilés Vargas.

Sr. Jonathan Xavier Días Toaquiza.

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones a Fines / 0711 Ingeniería y Procesos Químicos

Líneas de Investigación de la Universidad Técnica De Cotopaxi**Procesos Industriales**

Las investigaciones que se desarrollen en esta línea estarán enfocadas a promover el desarrollo de tecnologías y procesos que permitan mejorar el rendimiento productivo y la transformación de materias primas en productos de alto valor añadido, fomentando la producción industrial más limpia y el diseño de nuevos sistemas de producción industrial. Así como diseñar sistemas de control para la producción de bienes y servicios de las empresas públicas y privadas, con el fin de contribuir al desarrollo socio económico del país y al cambio de la matriz productiva de la zona.

Sub-líneas de Investigación.

Producción para el desarrollo sostenible

Calidad, diseño de procesos productivos e ingeniería de métodos

Área donde propone desarrollar la investigación: Latacunga.

Responsable: Ing. MSc. Lilia Cervantes Rodríguez

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Existe una infinidad de procesos tecnológicos para la producción de alcohol etílico, cada industria posee su maquinaria, se ajustan los procesos para su obtención, así como se ha tenido en cuenta las aplicaciones de esta sustancia en el mercado. El presente proyecto se basa en el diseño de una destiladora industrial para obtener alcohol por el proceso de fermentación de la planta conocida con el nombre de agave americana, usada por ciertas poblaciones de la región sierra desde hace años para fabricar alcohol artesanalmente. Se observó la necesidad de industrializar la fabricación de dicho producto para hacer más eficiente su producción y poder controlar los parámetros de calidad.

El diseño de la destiladora industrial constará de instrumentos de medida de temperatura y control del destilado para conocer la eficiencia de su funcionamiento. Se utilizará un programa de diseño asistido por computador SolidWorks el mismo que se fundamenta en el modelado de mecanismos y piezas mecánicas en 2D y 3D, además permite el ensamblado de los diferentes prototipos de equipos mecánicos y también obtener los planos de diseño.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La destilación es un método utilizado para la purificación de líquidos y la separación de mezclas, con el fin de obtener sus componentes individuales, dentro de la destilación existen los subprocesos para separar de los componentes o sustancias de una mezcla líquida mediante el uso de la ebullición y posteriormente la condensación. Para esto es necesario la utilización de una máquina destiladora, la misma que permite el control de la temperatura, ya que esta variable influye en el proceso de destilación, porque todas las sustancias tienen diferentes puntos de ebullición, por ejemplo el punto de ebullición del alcohol etílico es de 78.32°C, durante el proceso de destilación real este se encuentre en un rango de 70° C a 80° C, de ahí la importancia de un buen diseño y control de temperatura evitando la destilación de otros componentes como el metanol que se evapora a una temperatura de 64,7°C. Si el proceso se mantiene en el rango de ebullición adecuado el resultado es un destilado de alta calidad consecuentemente mejorando su sabor y aroma.

La obtención de los diferentes productos en base a la destilación es diversa y de gran producción a nivel regional y mundial como es el alcohol etílico, en aspectos de la medicina, alcohol desinfectante entre otros. En la actualidad debido a la pandemia este último producto es de alta demanda, por lo tanto es una fuente importante de generación económica y dentro del cambio de la matriz productiva del país, debido a que se genera productos 100% fabricados en el Ecuador, como es el agave americana, es por ello que se debe dar importancia a los recursos que necesitan los pequeños emprendedores y al sector industrial, sobre el equipamiento para el proceso de destilación, este es uno de los principales objetivos del presente proyecto.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios en el presente Proyecto:

- **Directos**

Los beneficiarios directos se pueden mencionar a las empresas que elaboran directamente con este tipo de alcohol etílico como son las empresas industriales: Licorec S.A., Destilec S.A., como también pequeños emprendedores de la provincia de Cotopaxi, siendo estos los beneficiarios que componen las empresas moderadamente grandes de la provincia, mientras que en los establecimientos artesanales los propietarios o trabajadores a cargo son los favorecidos.

Tabla 1. Tabla de Beneficiarios Directos

Beneficiarios	Tipos	Masculino	Femenino	Total
Directos	Empresa “Licorec S.A.”	80	15	95
	Empresa” DESTILEC S.A”	65	16	81
	Empresa Artesanal de la provincia de Cotopaxi	50	25	75

Fuente: Avilés y Días (2021).

- **Indirectos**

Dentro de estos beneficiarios indirectos, es necesario mencionar que serían todos las personas o empresas involucradas para crear estos productos, es decir proveedores, consumidores del producto, trabajadores externos de la empresa, por lo tanto, se tomara en cuenta las familias directas de los trabajadores con un promedio de número de personas.

Tabla 2. Tabla de Beneficiarios.

Beneficiarios	Tipos	Masculino	Femenino	Total
Indirectos	Familias de los trabajadores	195	56	251

Fuente: Avilés y Días (2021).

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel global las cadenas de fabricación de destiladoras industriales se enfocan más en las empresas Multinacionales y no en los pequeños microempresarios o artesanos ya que ellos no les generan ganancias, por lo tanto, hacen a un lado para que se beneficien u optan por una destiladora a un alto precio

La producción mundial de etanol en el año 2006 fue de 40 millones de toneladas. Brasil y EE.UU. produjeron el 70 % de la producción mundial. Brasil utiliza como materia prima a la caña de azúcar mientras que EE.UU. utiliza cereales, principalmente maíz (Lanas, 2007).

En el Ecuador existen industrias dedicadas a la fabricación de alcohol etílico pero globalmente un reducido porcentaje en comparación a ciertos países de la región, entre las múltiples razones el poco interés de los pequeños emprendedores dentro de la matriz productiva del país, el poco equipamiento existente para el proceso de producción y en el caso de existir estos equipamientos son costosos y el proceso de exportación de igual forma, entonces reduce el inicio de nuevas micro empresas y en su defecto a nivel artesanal, siendo estos los pilares para la creación de fábricas. (Nieto, 2009)

La elaboración de alcohol etílico a partir de plantas nativas del lugar de residencia toma mayor fuerza en la actualidad, como es el caso de la agave americana, por lo que almacenan la materia prima para su fermentación para posteriormente destilar, pero carecen de una alta productividad por el diseño de sus destiladores que son de baja capacidad de producción, por ende, no son valorados, ya que ellos no aportan como las grandes industrias. Por lo tanto, los productores del alcohol etílico poseen un ingenio para crear destiladoras de diferentes plantas o frutas naturales, por eso el fin de este diseño de destiladora va enfocado en aquellos emprendedores que optan por crecer y generar empleo a su vez, un diseño con buena capacidad, automatizado y lo cual impulsara la matriz productiva. (Villacis, 2017)

En la provincia de Cotopaxi existe algunas empresas dedicadas a la producción de licores en una escala mayoritaria, como son: Destilec S.A., Licorec S.A. y otras con pequeñas producciones, cabe recalcar que existe una producción de forma artesanal que limitan su producción y crecimiento por la inversión que deben ejecutar en la maquinaria y equipamiento pero que estas son a gran escala y para el inicio de un proceso de producción se lo realiza desde una mínima cantidad hasta alcanzar ciertos parámetros de ventas comercialización, mano de

obra calificada , estándares de calidad del producto, espacio e infraestructura. Por lo tanto, se ve limitada su crecimiento, entonces el presente proyecto busca acoplar un sistema de destiladora industrial, pero en reducidas cantidades con el objetivo de abaratar costos y aumentar la producción de forma automatizada, y que cumpla con todos los requerimientos necesarios de funcionamiento y de calidad

Formulación Problemática: ¿Cómo mejorar el diseño de destiladoras existentes en el mercado Nacional, está sea automática de distinto material, propiedades y a su vez optimice costos para su fabricación?

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General:

Diseñar una destiladora industrial para la obtención de alcohol etílico a partir del fermento obtenidos del agave americana para su posterior implementación y uso de esta sustancia como materia prima de otras producciones industriales.

6.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un estudio de los requerimientos técnicos para el diseño y modelado de una destiladora para la obtención del alcohol etílico.
- Diseñar la destiladora bajo requerimientos técnicos para el proceso de destilación del alcohol etílico.
- Describir el proceso unitario de destilación y los parámetros de control necesarios para el buen funcionamiento de la destiladora diseñada.
- Evaluar los costos beneficios de la destiladora para la obtención de alcohol etílico.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 3. Actividades de los Objetivos planteados.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS
<p>➤ Realizar un estudio de los requerimientos técnicos para el diseño de una destiladora para la obtención del alcohol etílico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio del proceso de destilación alcohólica, etapas y operaciones. • Análisis técnicos para el diseño de la destiladora de alcohol. • Descripción de las propiedades del alcohol etílico y sus aplicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de las etapas y operaciones de la destilación alcohólica. • Requerimientos técnicos para el diseño del proceso de destilación. • Propiedades y aplicaciones del alcohol etílico. 	<p>Fichas técnicas Catálogos industriales Páginas web Artículos científicos Libros de texto</p>

	industriales.		
<p>➤ Diseñar la destiladora bajo requerimientos técnicos para el proceso de destilación del alcohol etílico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información relacionada con las tecnologías utilizadas para procesos de destilación. • Establecimiento de criterios técnicos para el diseño de la destiladora de alcohol. • Descripción del equipamiento a utilizar en la planta 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías para la destilación. • Criterios técnicos establecidos. • Equipamiento para la destilación descrito. • Resultado de una planta de destilación alcohólica. 	<p>Diseño asistido por computador, Software Solidwork</p> <p>Métodos numéricos</p> <p>Diseño de mecanismo</p> <p>Propiedades de materiales</p>

	<p>destiladora.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la planta destiladora de alcohol. 		
<p>➤ Describir el proceso unitario de destilación y los parámetros de control necesarios para el buen funcionamiento de la destiladora diseñada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de las etapas del proceso de destilación. • Caracterización de los parámetros de control para el funcionamiento óptimo del proceso de destilación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etapas del proceso de destilación. • Parámetros de control. 	<p>Sistemas de control industrial, fichas técnicas</p> <p>Dinámica del funcionamiento del sistema (proceso de destilación)</p> <p>Variables de temperatura, mediante datos experimentales</p>

<p>➤ Evaluar los costos beneficios de la destiladora para la obtención de alcohol etílico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los costos directos e indirectos para la construcción de la planta destiladora. • Valoración de los gastos imprevistos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos directos e indirectos. 	<p>Proformas de precios de los materiales a utilizar Catálogos Industriales de precios</p>
--	--	---	--

Fuente: Avilés y Díaz (2021).

8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

8.1 Agave americana. Usos en procesos fermentativos para la producción de alcohol

Es una planta perenne nativa de México, que crece en regiones áridas y semiáridas de América del sur, América central y algunas partes de Europa, conocida también como magueyes o mezcales, pero en Ecuador es más conocido como cabuya negra, es una planta que contiene una alta producción de azúcares que se encuentra en el núcleo de esta planta, por lo que se lo adecuado para la producción de bebidas alcohólicas, artesanales, jugos entre otros. (Ambuludi, 2014)

El agave se distingue por tener una espina terminal y una ranura lisa en la punta, las rosetas pueden llegar a medir hasta 2 metros de largo y 4 de ancho con 20 a 40 hojas (Duque, 2013).

La biología reproductiva de este penca puede ser iferoporas, es decir que este agave posee la capacidad de reproducirse varias veces y también son semelparos que significa que solo puede producir una sola inflorescencia en su vida y luego mueren. (Ambuludi, 2014)

8.1.1 Características del agave americana

Entre sus principales características es el crecimiento lento, no contiene tallos, crecen forma de roseta, el color distintivo de esta penca es en sus hojas de un tono azul, azul-verde, son consideradas de buena fibra, son plantas altamente resistentes, viven en altitudes superiores a los 2200 msnm (Duque, 2013).

- **Flores:** florecen una sola vez en su vida, desde el centro de la roseta crece un tallo de forma vertical del tamaño alrededor de unos 8 metros, de las cuales se desprenden hojas de color amarillo- verdoso (Duque, 2013).
- **Raíz:** algunas de estas especies producen una pulpa que al mojarse se transforma en espuma que se emplea como jabón. En México esta sabia se denomina aguamiel, que al fermentar se transforma en una bebida alcohólica denominada pulque que por proceso de destilación se convierte en mezcal (Duque, 2013).
- **Fruto:** es una capsula prismática que está lleno de semillas, que al secarse quedan abiertos los frutos, que contienen semillas planas de color negro (Duque, 2013).
- **Hojas:** estas pueden almacenar una cantidad considerable de agua, la superficie de las hojas están recubiertas de una especie de membranas blanquecinas resistentes que estas luego se pueden emplear haciendo saquillos o sogas (Garcia, 2007).

Tabla 4. Características de la agave americana

Reino	Plantae
Phylum	Euphyta
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledones
Orden	Amaryllidaceae
Familia	Agavaceae
Genero	Agave
Especie	Americana

Fuente: (García, 2007).

8.1.2 Técnicas de cultivo del agave americana

Las plantas de agave americana son un tipo de plantas que crecen en cualquier lugar sea verano o invierno, por eso en algunas partes del mundo crecen de forma silvestre, su temperatura ideal para su crecimiento está entre los 20° y 30°C. (Duque, Evaluación de los tres métodos de reproducción del penco azul (Agave americano), en la parroquia Tocachi, cantón Pedro Moncayo provincia Pichincha, 2013)

8.1.3 Propagación reproductiva del agave americana

Esta planta puede ser propagada a partir de sus hijuelos que crecen alrededor de la planta madre cuando tengan un largo de 10 cm aproximadamente los mismos que deben ser cortados higiénicamente y dejarlos secar por 2 a 3 días en temperaturas de 15°C, sus principales formas son: (Duque, Evaluación de los tres métodos de reproducción del penco azul (Agave americano), en la parroquia Tocachi, cantón Pedro Moncayo provincia Pichincha, 2013)

- Hijuelos: nacen de las bases de las plantas de las madres
- Meristemáticos: se usan las yemas de las plantas jóvenes.

8.1.4 Usos del agave americana

Entre los principales usos, es como planta ornamental, elaboración de fibras textiles y la producción de bebidas alcohólicas.

Plantas ornamentales: la utilización de plantas de agave se ha hecho famoso a nivel mundial por su alta resistencia a temperaturas y su bajo cuidado contra plagas y enfermedades por eso existen en jardines desde variedades conocidas hasta las más exóticas.

Elaboración de fibras textiles: desde tiempos remotos en la época prehispánica se ha utilizado el maguey como materia prima para producir vestimenta, la misma que provenía del maguey como un algodón silvestre, que hasta la actualidad se realiza algunos tipos de vestimenta también existe hilos o saquillos que se utiliza por su alta resistencia.

Bebidas alcohólicas: en el ámbito industrial o artesanal resalta la producción de este tipo de bebidas de las cuales se obtiene el tequila, mezcal y el pulque.

El maguey tiene un sin número de usos ya que sus hojas también sirven para alimentar al ganado por su amplia fibra que contiene, también obtienen bebidas dulces para el consumo humano que son muy saludables por su alto índice de nutrientes que posee, para el uso en la cocina se lo utiliza para adornar platos, aumentar dulzura y textura de alimentos y conservar los alimentos entre otros. (Espinal, Jimenez, & Peraza, Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico., 2009)

8.1.5 Agave americana y sus beneficios

El agave americana o conocido en el Ecuador como chaguarmishqui en kichwa, el mismo que se extrae a partir de un hueco hecho previamente antes del corazón del chaguarmishqui que se encuentran maduros, el mismo que posee una miel de bajo glicémico, la cual se convierte en un dulce ideal para todas las personas incluso para los diabéticos.

Este posee propiedades desinflamatorias excelente para las artritis y enfermedades similares, ayuda al sistema inmunológico y ayuda al cuerpo a asimilar calcio para fortalecer a los huesos.

Este dulce se lo consume en provincias de la sierra como un brebaje ancestral el mismo que lo cocinan con arroz de cebada y se lo consume mediante agua refrescante o en forma fermentada que posee un nombre de guajango y se lo toma en fiestas ancestrales serranas. (Ambuludi, 2014)



Figura 1. Extracción del chaguarmishqui.

Fuente: Tomado de (Araujo, 2017, p. 16).

El chaguarmishqui luego de pasar por un proceso de fermentación se obtiene un vino de color amarillo, mismo que antiguamente era consumido en la época colonial en diferentes celebraciones que ellos tenían, desde aquellos tiempos hasta la actualidad se ha ido evolucionando técnicas para obtener el alcohol etílico y de estas dependen la calidad del producto, cabe mencionar que esta bebida posee un grado menor al trago el mismo que esta entre 39.6 y 40° de alcohol. (Villacis, 2017, p. 26)

Ciertos países se han visto envueltos en desarrollar diferentes procesos de fermentación y destilación del agave americana para la producción de diferentes tipos de licores, por citar un ejemplo, México es un país donde cierta parte de su territorio se dedican a la siembra de esta planta, con el objetivo de extraer la miel del agave americana para ejecutar el post procesamiento y desarrollar varias etapas de fermentación y destilación para obtener el famoso tequila mismo que cuenta con diferentes porcentajes de alcohol y de ello depende la calidad del producto (Araujo, 2017, p. 5).



Figura 2. Planta de producción mexicana de tequila José Cuervo.

Fuente: Tomado de (Villacis, 2017).

8.1.5.1 Beneficios del agave americana

Posee varias características organolépticas siempre y cuando el agave este en óptimas condiciones.

Tabla 5: Factores organolépticos

Factores Organolépticos	Resultados
Color	Ligeramente amarillo turbio
Olor	Característico penco
Sabor	Dulce
Aspecto	Líquido

Fuente: (Ambuludi, 2014, p. 23).

Tabla 6: Información nutricional.

Descripción	Valores (%)
Proteína	0.34
Ceniza	0.65
Sólidos totales	10.76
Sodio(mg/100g)	1
Ph	6.8
Acidez	0.31
Densidad(g/ml)	1.02

Fuente: (Ambuludi, 2014, p. 24).

Entre los principales beneficios se tiene los fructooligosacáridos que producen bacterias intestinales provechosas para el cuerpo.

- Es un estimulante para el crecimiento de la flora intestinal
- Impiden el crecimiento de bacterias patógenas
- No tienen calorías, por lo que son tolerados para diabéticos porque regulan la insulina.
- Aumentan la absorción de magnesio y calcio
- Disminuyen los niveles de colesterol y triglicéridos (Ambuludi, 2014, p.26)

8.2 Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica conocida también como fermentación del etanol o fermentación etílica, se encuentra desde tiempo muy antiguo que empezó desde la elaboración de la cerveza de cebada, hasta llegar a conseguir el vino de las uvas, por un proceso biológico de fermentación con ausencia de oxígeno o proceso anaeróbico, el mismo que se origina por la actividad de microorganismos que procesan los hidratos de carbono como la fructosa, sacarosa, glucosa entre otros, con el fin de obtener alcohol etílico y dióxido de carbono en forma de gas además de moléculas de ATP (Adenosine triphosphate) el mismo que proviene de ADP(Adenosine diphosphate) mismos que consumen los microorganismos, el etanol resultante se emplea para la producción de bebidas alcohólicas, en la actualidad también es usado mediante la fermentación industrial como biocombustible (Espinal, Jimenez, & Peraza, Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico., 2009).

La finalidad biológica de la fermentación alcohólica es proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares o también llamados levaduras, las mismas que disocian las moléculas de glucosa proporcionándoles energía para sobrevivir produciendo etanol y dióxido de carbono. Las levaduras y bacterias que ocasionan esta descomposición son microorganismos que se encuentran en frutas y cereales siendo estas las que contribuyen a dar sabor a los productos fermentados. Al proceso de fermentación alcohólica donde las levaduras descarboxilan el piruvato obtenido de la ruta Embden-Meyerhof-Parnas (glicolisis) dando acetaldehído, y éste se reduce a etanol por la acción del NADH₂ (Nicotinamida adenina dinucleótido) (Edukativos.com, 2017).

Se representa por la ecuación de Gay – Lussac siendo esta una reacción global:



Glucosa → 2 Etanol + 2 Dióxido de carbono

Ecuación del balance energético de la fermentación.

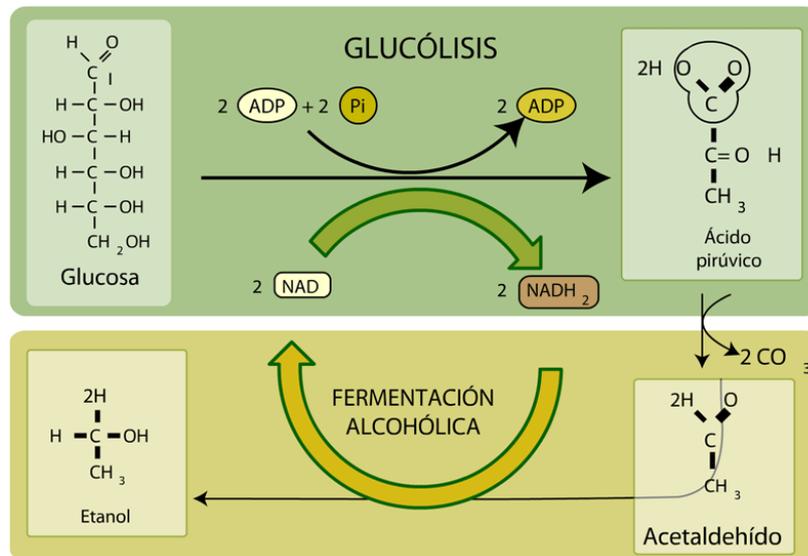


Figura 3. Esquema de fermentación alcohólica y glucólisis.

Fuente: Tomado de Vadillo, 2018.

8.2.1 Temperatura de fermentación del agave americana

Durante la fermentación el mosto (jugo) sacarificado debe estar una concentración de azúcar entre los 12 a 18% de azúcar, el mismo que se debe controlar porque en este proceso se produce un aumento relativo, el mismo que se debe a la descomposición de las azúcares existentes en el mosto, por lo que producen una reacción exotérmica es decir desprende calor, es por eso que la temperatura es fundamental en este proceso (Espinal, Jimenez, & Peraza, 2009, p. 19).

La temperatura ideal oscila entre los 32 a 35°C para que se adapte las levaduras, cuando existe una temperatura mayor a 35°C disminuye la acción de levaduras, sin embargo cuando la temperatura exceda los 40°C el proceso se puede detener debido a la inhibición de levaduras y puede producir evaporación de etanol, cuando la temperatura es muy baja la fermentación es más lenta, sin embargo la temperatura debe estar solo en un rango para que se fermente de forma óptima. (Consejo regulador del tequila, 2019)

8.2.2 Tiempo de fermentación del agave americana

La fermentación es entre 72 a 96 horas para la industria de licores, a diferencia de los vinos y cervezas que su fermentación es más lenta y en temperaturas bajas preservando su sabor y aroma. El tiempo depende de la concentración de azúcar en el mosto, la cantidad y variedad de levadura y temperatura del ambiente. (Martinez, 2017).

8.2.3 Influencia del pH en el proceso de fermentación alcohólica

El pH en el proceso de fermentación es muy importante ya que este debe estar en el rango de 4 a 5, de este modo producirá un alcohol de excelente calidad y un grado alcalino exquisito cuando el alcohol etílico pase por un proceso de fermentación, por ende es muy importante vigilar este parámetro de control ya que si se alterara el pH por contaminación causada por organismos como el calcio, azufre existirá una competencia para las levaduras, por ejemplo el calcio provoca la floculación de las levaduras mismas que se precipitan y no se lleva a cabo una fermentación total de los azúcares, mientras que el azufre produce espuma que ocasiona derrame de las tinajas de fermentación y por lo tanto mermas. Generalmente se utiliza el ácido sulfúrico, láctico o cítrico para ajustar el pH del mosto. (Consejo regulador del tequila, 2019)

8.2.4 Tipos de fermentación alcohólica

- Fermentación industrial: Es un proceso mediante el cual se realiza un cultivo celular en un fermentador o biorreactor con la finalidad de aumentar la biomasa celular, producir enzimas o metabolitos, usualmente se los realiza de forma aeróbica para obtener el máximo rendimiento metabólico celular del sistema biológico empleado (Berlioz, s/f, p. 1).

Una de las ventajas en realizar este tipo de fermentación es utilizar adecuadamente las levaduras a inocular en el proceso de fermentación esto se lo realiza con el propósito de aumentar el rendimiento de la producción, ya que en la industria el potencial de etanol que se utiliza es a mayor proporción para la generación de un producto derivado. (Paez, 2018, p. 4).

- Fermentación natural: Este proceso se da debido a la presencia de azúcar y el poco oxígeno, es por eso que en el interior de algunas frutas se realiza este proceso de maduración anaeróbica, por lo que cuando algunas frutas maduran mucho se puede percibir un olor a alcohol (Paez, 2018, p. 4).
- Fermentación específica: Estas son manipuladas por el hombre con el propósito de

obtener etanol, para este proceso se emplea los azúcares de las frutas, cereales y de la leche, esto se lo realiza de forma local por la disponibilidad de sus substratos, con ello mientras más producción de materia prima existirá más fermentación y se obtendrá etanol. Por ejemplo, las uvas en Sudamérica y el arroz en el continente asiático, el proceso de fermentación varía según el lugar o etnia que produce el etanol (Castillo, 2016, p. 5).

8.3 Destilación alcohólica

Es una técnica que nos permite separar mezclas líquidas, que tienen distintos puntos de ebullición. Para obtener más grados de pureza de las sustancias a separarse, los puntos de ebullición deben tener una gran diferencia por ende la separación será eficaz (Espinal, Jimenez, & Peraza, Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico., 2009).

Al calentar una mezcla de líquidos de diferentes presiones de vapor, el vapor se enriquece en el componente más volátil y esta propiedad se aprovecha para separar los diferentes compuestos líquidos mediante este tipo de destilación (Angurell, 2014). El alcohol tiene un punto de ebullición teórica de 70°C y experimental de 78.3° C, tener en cuenta que estos valores van a variar según el sistema de destilación, pero la mayoría establece este rango y el agua de 100° C, es por eso cuando aplicamos la ebullición el alcohol se separa del mosto y su vapor pasa por un condensador de frío que lo vuelve a estado líquido provocando de esa manera la destilación. Con el proceso de destilación el alcohol más fuerte que se puede obtener es del 95%, esto se debe que agregando un 5% de agua tendrá un punto de ebullición más bajo el 78.15° C. (Ramirez, 2015)

El líquido destilado tendrá la misma composición que los vapores y; por lo tanto, con esta sencilla operación habremos conseguido enriquecer el líquido destilado en el componente más volátil. Por consiguiente, la mezcla que quede en el matraz de destilación se habrá enriquecido en el componente menos volátil (TP laboratorio químico, 2017).

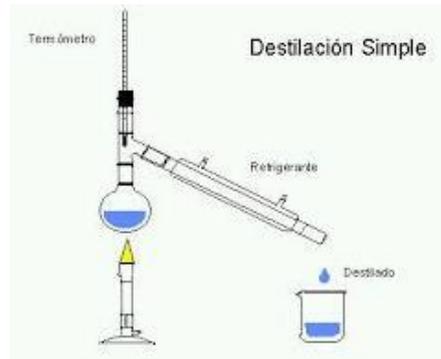


Figura 4. Proceso de destilación simple.

Fuente: (Cortez, 2015).

8.3.1 Tipos de destilación

- a) **Destilación simple:** es una técnica de separación utilizada en los laboratorios de química para purificar líquidos mediante la eliminación de impurezas no volátiles. También se utiliza para la separación de mezclas de líquidos miscibles que difieren en p.e. en al menos $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, y que también debe presentar p.e. $< 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica. Por tanto, aprovecha las propiedades del punto de ebullición de las mezclas de líquidos (Dequímica, Destilación simple, 2021).
- b) **Destilación fraccionada:** emplea múltiples ciclos de vaporización-condensación y se utiliza para separar componentes líquidos en los que su punto de ebullición difieren en menos de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cada uno de los componentes a separar se denominan fracción. El montaje es análogo a la destilación simple, con la diferencia que entre el matraz de fondo redondo y la cabeza de destilación, se inserta una columna de rectificación (puede presentar diferentes tipos de diseño: columna vigreux, columna de relleno, etc.). Esta columna de rectificación generalmente se llena con perlas de vidrio o lana metálica, lo que proporciona una gran superficie para que el líquido se condense y se vuelva a evaporar varias veces dependiendo del diseño (Dequímica, Destilación fraccionada, 2021).

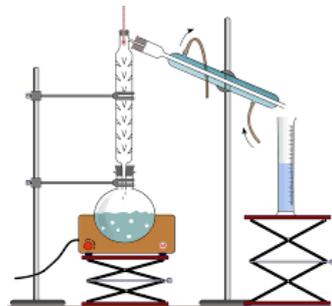


Figura 5. Destiladora fraccionada.

Fuente: (Lidefer, 2018).

- c) **Destilación a vacío:** El proceso de ebullición comienza cuando la presión de vapor de un líquido o solución es igual a la presión externa o aplicada (a menudo la presión atmosférica). Así, si se reduce la presión aplicada, el punto de ebullición del líquido disminuye. Este comportamiento ocurre porque para hervir se necesita una presión de vapor más baja, la cual se puede lograr a una temperatura más baja (Quimicafacil.net, 2020)

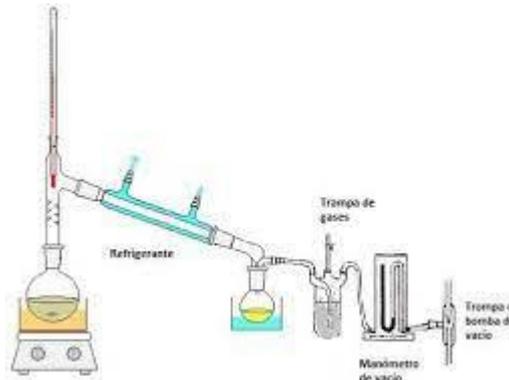


Figura 6. Destilación a vacío.

Fuente: (Ortegui, 2018).

8.3.2 Tecnologías en escala industrial para la obtención de alcohol etílico.

8.3.2.1 Sistema de fermentadores cónicos de acero inoxidable para etanol.

Este prototipo adopta estándares internacionales de calidad de acero inoxidable, el mismo que fue diseñado a base de tanques cilíndricos que soportan hasta 14.7 psi, con corte de plasma, soldadura con blindaje de argón puro y una máquina pulidora automática mecanizada. Este sistema consta de una sala de cocción, para el macerado, para roseado, hervidor de agua, hervidor de hidromasaje y un equipo de dosificación de lúpulo (Shandong Tonsen Equipment Co., 2016).



Figura 7. Fermentador cónico de acero inoxidable para etanol.

Fuente: (Shandong Tonsen Equipment Co., 2016).

Características técnicas del fermentador cónico de acero inoxidable para etanol.

Tabla 7: Características técnicas del fermentador cónico de acero inoxidable para etanol.

Características técnicas		
Sistemas	Componentes	Especificación
Fresado	Miller	Doble rodillo, ruido <60db
Calefacción	Caldera (calefacción a vapor)	Eléctrico o a vapor
Brewhouse del sistema	Macerado – roseado	Calefacción chaqueta Material: SUS 304/316 o cobre rojo Termómetro/tanque
	Hirviendo / hidromasaje tanque	
	Intercambiador de calor	PTarde tipo
Fermentación	Tanque de fermentación	Top manway/lado manway Glicol de chaqueta
	Levadura añadir tanque	SUS304 de acero inoxidable
Refrigerador	Refrigerator máquina	WCon el sistema de control
	Bomba/bomba de válvula	Ajustable
	YoCe tanque de agua	Flúor de llenado
Limpieza CIP	UnCid tanque	SUS304 completa soldado con autógena
	Álcali tanque	
	PUmp	Ajustable
Control	Armario de Control	Semiautomática

Fuente: (Shandong Tonsen Equipment Co., 2016).

8.4 Etanol

Es un subproducto natural de la fermentación vegetal, también se lo puede producir mediante la hidratación del etileno, también llamado alcohol etílico es un líquido de transparente e incoloro es uno de los compuestos básicos para la obtención de bebidas alcohólicas su fórmula química es C_2H_6O . Debido a su fácil disolución con sustancias líquidas y agua este producto

también se utiliza en la industria de productos cosméticos incluso hasta el uso en pinturas, entre otros. (Chemical Safety Facts, 2018)

La caña de azúcar y el maíz son uno de los principales medios para la producción de etanol, sin embargo, países como Brasil, Estados Unidos y Canadá utilizan esta sustancia en mayor grado para utilizar como combustible a la misma que llaman hidro alcohol y como aditivo de gasolina siendo este último en un grado bajo de alcohol.

8.4.1 Características del etanol

Por su alta activación con algunos solventes y derivados de celulosa, forma azeótropos binarios y ternarios con el agua y los principales acetatos facilitando procesos de impresión y pintado, ya que posee propiedades únicas en este tipo de compuesto como un pH neutro, inflamación a 14° C y ebullición a los 78.3° C, límites explosivos mínimos 3.3 y máximos entre 19 V/V %, entre otras propiedades además posee características físico-químicas como las siguientes: (Cornejo, 2016)

- Hidrocarburo Alifático.
- Diluyente Universal.
- Líquido Inflamable.
- Incoloro.
- Olor etéreo.
- Sabor acre.
- Soluble en agua, Cloroformo y Alcohol Metílico.

8.4.2 Propiedades físicas y químicas del etanol

El etanol conocido con su fórmula química como $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ o $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ tiene las siguientes propiedades físicas tienen un aspecto líquido transparente incoloro con un pH neutro, mismo que tiene un punto de inflamación de 14 °C, de ebullición de 78.3° C y fusión de -114 °C, por naturaleza tiene una densidad de 0.806 g/l y una solubilidad miscible con el agua.

Las propiedades químicas del etanol son primordialmente las del grupo hidroxilo, pero en cierto número de reacciones tiene parte el grupo metilo. Por la acción de los ácidos orgánicos e inorgánicos, se forman los ésteres correspondientes, los cuales por hidrólisis se descomponen en alcohol y en ácido (Espinal, Jimenez, & Peraza, Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico., 2009).

El alcohol etílico reacciona con algunos metales y forma etóxidos. El etóxido sódico y el aluminico son muy usados en síntesis orgánica. El grupo hidroxilo es reemplazado por un halógeno con los reactivos usuales (haluros de hidrógeno y de fósforo) (Espinal V. , Jimenez, Kelvin, & Francisco, 2009). Por medio de la deshidratación del etanol se puede conseguir etileno o éter dietílico (Espinal V. , Jimenez, Kelvin, & Francisco, 2009).

El etanol reacciona con el grupo carbonilo de aldehídos y cetonas para formar acetales. La oxidación del etanol produce etanal y si aquella continúa se forma el ácido acético. Ingerido en pequeñas dosis y diluido, primero reanima el organismo, pero a continuación se produce un descenso en la temperatura del cuerpo, a la vez que actúa como narcótico. Tomado puro, o en grandes cantidades, es tóxico. Dada su gran afección por el agua, es excelente para impedir putrefacciones (Espinal V. , Jimenez, Kelvin, & Francisco, 2009).

El punto de ebullición de las mezclas agua y alcohol se eleva a medida que la solución se empobrece de alcohol, debido a que la presión de vapor del agua es menor que la del alcohol. Los vapores producidos por ebullición de estos líquidos alcohólicos son más ricos en alcohol que la solución de que proceden (Espinal V. , Jimenez, Kelvin, & Francisco, 2009).

El alcohol etílico puro no se puede conseguir por destilación de soluciones acuosas ya que una mezcla del 95.57% de alcohol constituye un líquido de punto de ebullición constante de 77.65°C, inferior al punto de ebullición del alcohol puro.

El alcohol etílico se presenta bajo siguientes clases:

- **Alcohol industrial o de primera:** Con una riqueza alcohólica de 96.5°GL. (GL°: % en volumen de las soluciones alcohol-agua a 15°C) Se usa para la preparación de licores y una gran cantidad de fines científicos, sanitarios e industriales (Espinal V. , Jimenez, Kelvin, & Francisco, 2009).
- **Alcohol desnaturalizado:** Resultante de la mezcla de alcohol industrial con alguna sustancia que lo haga impropio y desagradable para la bebida y que no pueda separarse fácilmente del alcohol, por medios físicos, químicos ni mecánicos (Espinal, Jimenez, & Peraza, Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico., 2009)
- **Alcohol de segunda:** Es el alcohol industrial que contiene impurezas volátiles producidas durante la fermentación.

- **Alcohol absoluto:** Tiene una riqueza de 99.7 – 99.8 °GL y un amplio uso en análisis químicos como en los de fisiología e histología y principalmente como carburante en motores de combustión interna cuando se combina con un 70-80% de gasolina.
- **Alcohol sólido:** Se prepara haciendo una mezcla de alcohol desnaturalizado y jabón, pero mejor resultado se obtiene saturando el etanoato cálcico con alcohol.

8.4.4 Principales productos para la elaboración de etanol

- **Sacarosas:** Una de las materias primas fundamentales es la caña de azúcar, melaza, mischky, entre otros, estos productos contienen azúcar en una forma simple de carbohidratos fermentables que facilitan la producción de etanol, por ejemplo, aproximadamente una tonelada de melaza llega a producir 230 litros de alcohol etílico.
- **Almidones:** Su principal fuente para producir alcohol son los cereales y tubérculos, los mismos que contienen carbohidratos en mayor parte molecular que son especialmente transformados mediante el proceso de sacarificación en azúcar, por ende, conlleva más costo y capital esto es por adicionar un proceso adicional.
- **Celulosa:** Se encuentra en madera, residuos forestales y agrícolas. La gran mayoría de materia prima son ricas en celulosa sin embargo el proceso para transformar a azúcar lo hacen excesivamente que sea difícil y costoso. (Ambuludí, 2014)

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS

- ¿Cómo caracterizar el proceso fermentativo para la obtención del alcohol etílico?
- ¿Qué requerimientos técnicos se deben tener para el diseño de una destiladora de alcohol etílico?
- ¿Qué parámetros de control son necesarios para el desarrollo del proceso de destilación alcohólica?
- ¿Cómo evaluar los costos de la destiladora para la obtención de alcohol etílico por procesos fermentativos?

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1 Tipo de investigación utilizada

10.1.1 Investigación Bibliográfica-documental

Esta investigación se fundamenta en las búsquedas de información mediante fuentes como: libros, tesis, trabajos de grado, artículos científicos, investigaciones relacionadas, artículos de

revistas y fuentes certificadas, con el objetivo de obtener información relevante y probada por autores que han desarrollado temas de investigación sobre el diseño de equipos para la destilación de alcohol etílico a base del agave americana.

10.1.2 Investigación Exploratoria

Se basa en un estudio de explorar un entorno, un problema, un servicio o la posibilidad de crear un producto teniendo en cuenta que se parte de un conocimiento casi nulo del tema. Es la primera aproximación que se va a obtener sobre las diferentes etapas para la producción de alcohol etílico, los parámetros técnicos que se debe mantener para alcanzar un producto de calidad, además del equipamiento tiene una destiladora industrial. Durante el desarrollo de la investigación se puede identificar que las empresas industriales requieren de una automatización relacionada a los equipos para la destilación permitiendo incrementar las líneas de producción, la calidad en los productos, minimizar pérdidas de materia prima, reducir costos de mantenimiento y operatividad entre otros.

10.1.3. Investigación descriptiva

Este tipo de investigación permite describir la población, situación o el fenómeno sobre un caso de estudio, para este proyecto la finalidad es determinar los parámetros para una destilación de calidad y las fases que debe tener el equipo de destilación para extraer un producto que satisfaga las necesidades de los usuarios. Esta investigación a diferencia de otras realiza su estudio sin alterar o manipular ninguna de las variables del área de investigación de la destilación de alcohol etílico, limitándose únicamente a la medición y descripción de las mismas. Por lo tanto, se podrá adquirir conocimiento sobre el diseño de una destiladora industrial en sus distintas partes que lo conforman y que detalles deben cumplir para adecuar el sistema a los requerimientos del usuario.

10.2. Métodos y técnicas utilizadas

10.2.1 Métodos de investigación

Para realizar el desarrollo del presente trabajo de investigación se aplica los siguientes los siguientes métodos investigativos: deductivo, inductivo, analítico y sintético. Para valorar cada uno de los aspectos dentro del proceso de destilación.

Método inductivo – deductivo

El método inductivo, es un sistema flexible que contiene una secuencia de paso para lograr llegar a conclusiones generales, esta inicia con la observación de determinadas actividades en este caso se enfoca en el detalle técnico que debe tener las partes de la destiladora como el tanque de fermentación, tuberías de transporte de vapor, intercambiador de calor, material entre otros aspectos importantes para obtener una idea inicial del sistema, esta información se registra, se analiza y finalmente se puede contrastar con otras máquinas con la misma función para elaborar una tabla de análisis técnico.

El método deductivo, parte de cuestiones generales para establecer parámetros más específicos, por ello se aplica al proceso de fermentación, destilación y obtención del alcohol etílico, debido a que existe ciertos parámetros como temperaturas, tiempo de reposos, la diferencia de densidades en la materia prima que específicamente se debe cumplir para poder obtener un producto de calidad y si de estas etapas una de ellas falla la destilación del alcohol etílico sufriría un revés en su producción y no satisfacerla los parámetros de calidad.

Método analítico y sintético

El método analítico, consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, las características y los efectos que pueden ocurrir durante sus etapas de funcionamiento. El análisis es la observación y examen de un sistema en particular por lo tanto se aplica a las partes del sistema de destilación, es decir la importancia y el funcionamiento que tiene cada uno de los elementos por ejemplo; la cámara de ebullición , el intercambiador de calor entre otras, esto con el fin de conocer las funciones de cada uno, el tipo de material, las dimensiones, el tiempo de transición durante el proceso, la variación de temperaturas etc., es decir, de un todo que es el equipo industrial a desacoplar cada una de sus partes para ver el detalle que poseen.

El método sintético, es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, es decir un procesamiento que tiene como objetivo la compresión total del sistema conociendo previamente cada fase para la obtención de alcohol etílico. Cabe recalcar que es necesario comprender cada una de las etapas y los distintos factores externos que intervienen en cada proceso para entender de forma íntegra la producción de alcohol etílico.

10.2.2 Técnicas de Investigación

Observación Directa y Participativa

La observación directa es un método de recolección de datos que se enfoca básicamente en observar el objeto de estudio en este caso la producción de alcohol etilo mediante un equipo de destilación industrial dentro de una situación particular. Todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto a fin de determinar los parámetros que tiene el sistema en el caso de producir un buen producto o en se defecto uno de mala calidad. Es importante recalcar que si se alterna alguna variable por recuperar la producción no serviría como datos válidos. Para todo este análisis es necesario mantener una observación participativa en cada una de las etapas del proceso, a fin de encontrar los posibles errores y las mejoras que se puedan desarrollar.

11. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

11.1 Caracterización del proceso fermentativo para la obtención del alcohol etílico

El agave americana inicia su proceso de fermentación desde la extracción del chawarmishky, para posteriormente medir el pH del compuesto, su aceptación debe tener pH de 4 – 5, además debe almacenarse en un tanque de fermentación a una temperatura ideal entre 30° C a 35°C para que las levaduras actúen en su proceso de fermentación, el tiempo de fermentación dura de 72 a 96 horas esto mientras se fermente al rango de temperatura mencionado, si esto no sucede y se fermenta a temperatura menor, el tiempo de fermentación aumentara en un 50% dependiendo del tipo de levadura o el concentrado de azúcar en el chawarmishky, finalizado el tiempo de fermentación la materia prima esta lista para su destilación.

11.2 Requerimientos técnicos para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

Para desarrollar el diseño de una destiladora industrial de alcohol etílico se procede a describir cada una de sus partes con el objetivo de conocer el funcionamiento y características de cada una de ella durante el proceso de destilación de la agave americana.

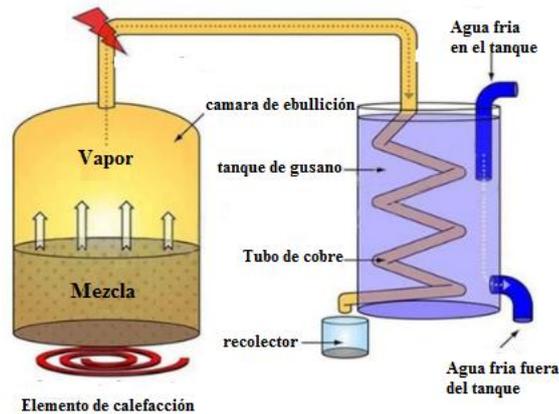


Figura 8. Partes de una destiladora industrial.

Fuente: Tomado de Pinterest, 2019.

11.2.1 Diseño de la cámara de ebullición de la destiladora industrial de alcohol etílico

Para los requerimientos del sistema se establece una producción promedio de 36 a 40 litros de alcohol etílico por lote, por lo tanto, de manera experimental se ha tomado como referencia el volumen de la cámara de ebullición de unos 400 litros de una destiladora artesanal que actualmente se encuentra produciendo, la misma se encuentra ubicada en el cantón Latacunga.

a) Cálculo de la altura de la cámara de ebullición

Se establece un diámetro no menor a 40 cm y tampoco mayor a 95 cm por las resistencias eléctricas comerciales, por lo tanto, se establece un promedio para el diámetro, teniendo en cuenta que si es el diámetro es demasiado pequeño el cilindro va a tener una altura demasiado prolongada, además de la utilización de un promedio de 1 a 2 resistencias para el calentamiento de la cámara, por lo cual se opta tomar un diámetro de 80cm

Datos:

El diámetro es de 80 cm cercano al mayor por las causas expuestas anteriormente.

$$V = 400 \text{ litros} = 0.40 \text{ m}^3$$

Fórmula:

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

$$h = \frac{V}{\pi * r^2} \quad (1)$$

$$h = \frac{0.40 \text{ m}^3}{3.14 * 0.4^3}$$

$$h = 0.8 \text{ m}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

Donde:

V= volumen

h= altura

r= radio

b) Volumen real de trabajo

Es importante tener en cuenta que existe un espacio de volumen permanece vacío, es decir que no se llena completamente el tanque con el objetivo de mejorar la evaporación de la materia prima y según ciertas normativas como la NTE INEN 2 322:2002 indica una relación de líquido y el espacio que debe mantenerse libre, un 80% y un 20% respectivamente.

Volumen teórico= 400 Litros

Calculo para el área de trabajo real:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (2)$$

$$400 \text{ litros} * \frac{80}{100} = 320 \text{ litros}$$

Por lo tanto, se tiene un volumen de trabajo de 320 litros y un espacio libre de 80 litros.

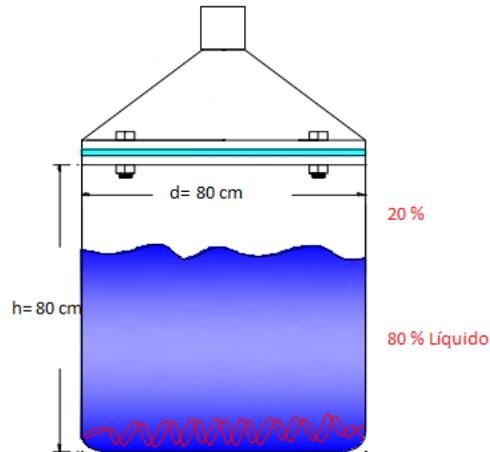


Figura 9. Cámara de ebullición.

Fuente: Tomado de Pinterest, 2019.

c) Cálculo del espesor del material a utilizar para la cámara de ebullición

Para determinar el espesor de la pared del cuerpo se empleará las ecuaciones del código ASME para recipientes cilíndricos a presión. Como condiciones adicionales tenemos que el elemento estará sometido únicamente a cargas estáticas correspondientes al peso propio del elemento y la presión de operación será la atmosférica en Latacunga.

Tabla 8. Fórmulas para calcular los valores de espesor y presión de diseño para tanques a presión

Tipo de depósito o cabezal	Espesor (t)	Presión de diseño (P)
Carcasa cilíndrica	$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P}$	$P = \frac{S \cdot R \cdot t}{R + 0,6 \cdot t}$
Cabezal elipsoidal	$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P}$	$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{D + 0,2 \cdot t}$
Cabezal/carcasa semiesférico	$t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P}$	$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{R + 0,2 \cdot t}$
Cabezal toriesférica	$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P}$	$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{L \cdot M + 0,2 \cdot t}$

Fuente: (ASME, 1968).

Para determinar el espesor del material se empleará la fórmula para carcasa cilíndrica:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6P} \quad (3)$$

Donde:

P: Presión de diseño

R: Radio interno

S: Esfuerzo permisible del material (Acero AISI 304)

E: Eficiencia de la junta

La presión de trabajo debe ser 1,5 veces la presión de diseño, esto según las condiciones de construcción de la ASME.

$$P = 1,5 * Pt$$

$$P = 1,5 * 101900 \text{ Pa}$$

$$P = 152,85 \text{ kPa} \approx 153 \text{ kPa}$$

Donde:

Pt: Presión atmosférica

Para el esfuerzo permisible del acero AISI 304 se procede a emplear las propiedades mecánicas del mismo y específicamente el Limite de Fluencia. El factor de seguridad será de 1,5 de acuerdo a los valores recomendados y las condiciones de trabajo mostradas.

Tabla 9. factores de seguridad recomendados.

Caso	Factor de Seguridad FS	Observaciones
1	1,25 ... 1,5	Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños.
2	1,5 ... 2	Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a carga y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad.
3	2 ... 2,5	Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse.

Fuente: (Vidosic, 1957).

Tabla 10. Propiedades mecánicas del AISI 304.

Material	Límite de fluencia σ_f , MPa	Resistencia máxima σ_u , MPa	Dureza HV
AISI 304	234,7	573,6	190
AISI 420	906,9	1410,8	464
AISI 329	506,7	647,9	254

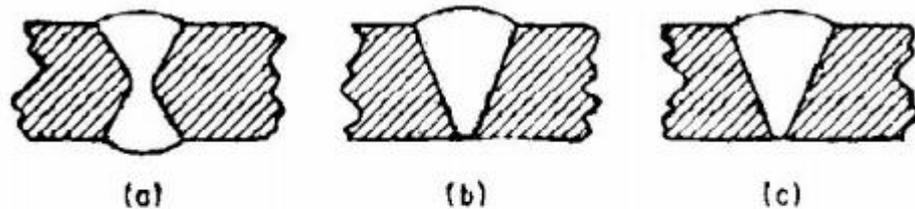
Fuente: (Suarez, Suarez, & Contreras, 2001).

$$S = \frac{\text{Limite de fluencia}}{\text{Factor de seguridad}} \quad (4)$$

$$S = \frac{234,7 \text{ MPa}}{1,5}$$

$$S = 156,47 \text{ MPa}$$

Los valores de E se encuentran en el rango de 0,6 a 1 y son seleccionados en función del tipo de unión y la calidad de la soldadura.



Tipos de soldadura: *a)* Junta por ensamble de soldadura doble, picada antes de soldar el segundo lado. *b)* Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo que puede o no retirarse. *c)* Junta por ensamble de soldadura simple, sin banda de respaldo (que sólo se permite para algunas soldaduras perimetrales).

Figura 10. Clases de soldadura.

Fuente: (ASME, 1968) SEC VIII. Div.1.

La soldadura considerada en la investigación corresponde al tipo (a) Junta por ensambles de soldadura doble, picada antes de soldar el segundo lado. No se realizará un examen o evaluación de los puntos de soldadura, principalmente por la cuestión de costos y acceso a equipos para Ensayos No Destructivos (END)

Tabla 11. Eficiencias de las juntas.

Tipo de Soldadura	Grado de examen Radiográfico		
	100%	Puntual	No examinada por puntos
(a)	1	0,85	0,7
(b)	0,9	0,80	0,65
(c)	-	-	0,6

Fuente: (ASME, 1968) SEC VIII. Div. 1.

Aplicación de la fórmula

$$t = \frac{P.R}{S.E-0,6P}$$

$$t = \frac{153 \text{ kPa} * 400\text{mm}}{156470\text{kPa} * 0,7 - 0,6 * 153 \text{ kPa}}$$

$$t = \frac{61200}{109437,2} = \mathbf{0,56 \text{ mm}}$$

Considerando que el valor de lámina es de 0,56 mm y que el tanque se encuentra expuesto a sufrir golpes y abolladuras, se optó por utilizar una lámina con mayor rigidez, eligiendo una lámina estandarizada de 2mm

a) Presión interna máxima de trabajo

El punto de ebullición de un líquido está representado por la temperatura a la cual hierve y su presión de vapor se iguala a la presión atmosférica (UCAB, 2004). A 80°C el alcohol etílico posee una presión de 818,6 mm de Hg o 109137,71 Pa. En base a la presión de diseño, y a la presión hidrostática ejercida por el fluido sobre el fondo del recipiente, al encontrarse al 80% de su capacidad se procede a calcular la presión interna del recipiente, utilizando la siguiente ecuación:

$$P = P_i + P_h \quad (5)$$

Donde:

P : presión de diseño

P_i : presión interna

P_h : presión hidrostática

Presión de diseño con un espesor de 2 mm

$$P = \frac{S.E.t}{R + 0.6t}$$

Donde:

S: Esfuerzo longitudinal

P: Presión de diseño

R: Radio interno

t: Espesor

E: Eficiencia de la junta

$$P = \frac{156470\text{kPa} * 0,7 * 2\text{mm}}{400\text{mm} + 0.6 * 2\text{mm}}$$

$$P = 546.00 \text{ kP}$$

Presión hidrostática del fluido

$$P_h = h * g * \rho \quad (6)$$

Donde:

h: altura del tanque

g: gravedad

ρ : densidad del jugo de agave a 0 grados Brix (994 kg/m³)

$$P_h = 0,64\text{m} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 994 \text{ kg/m}^3$$

$$P_h = 6,24 \text{ kPa}$$

$$P_i = P - P_h$$

$$P_i = 546.00 \text{ kPa} - 6,24 \text{ kPa}$$

$$P_i = 539,76 \text{ kPa}$$

En virtud de los cálculos realizados se observa que el recipiente está en capacidad de resistir 546,00 kPa de presión interna, sin embargo, como se mencionó al inicio de este apartado, la máxima presión interna con la cual se trabajara es de 109,14 kPa correspondiente a la presión alcanzada en ebullición del alcohol etílico.

d) Materiales para la construcción

Tabla 12. Características de materiales de la cámara de ebullición.

Material	Detalle	Aplicación
Planchas de acero medida 1.22x2.44mtrs inoxidable de 2 mm de espesor	Acero inoxidable AISI 304 (Inoxidable) austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercrystalina hasta 300°C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas si se emplea con la superficie pulida espejo (DIPAG, 2017).	Industrias alimenticias, cerveceras, azucarera, utensilios domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental, etc.
Tubo rectangular para la base del equipo	Acero inoxidable AISI 304 (Inoxidable)	

Fuente: Catalogo (DIPAG, 2017).

A. Modelamiento CAD de la cámara de ebullición

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., esta aplicación de permite a los diseñadores croquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones, cotas y producir modelos de piezas mecanizadas para el ensamblado de las mismas y obtener los planos a detalle. En la siguiente figura se muestra el diseño en 3 dimensiones del tanque para el proceso de ebullición y su respectiva tapa.

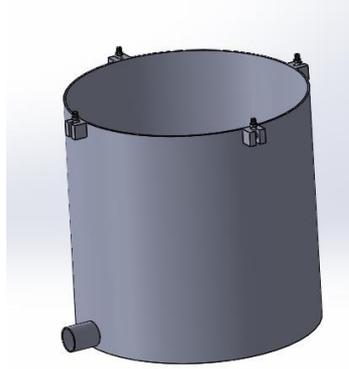


Figura 11. Tanque de la cámara de ebullición.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

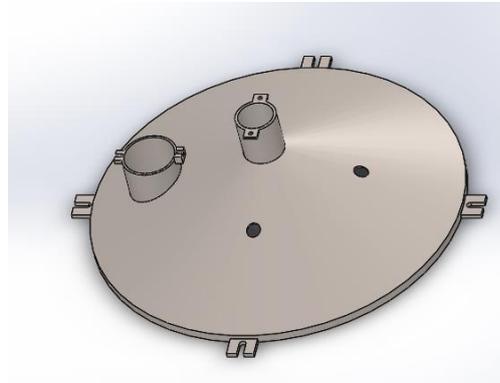


Figura 12. Tapa de la cámara de ebullición.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

11.2.2 Diseño del intercambiador de calor para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

Son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor, para el cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida. Teniendo en cuenta este principio se desarrolla el intercambiador cilíndrico mediante serpentín como referencia se toma un Yewo de 12 a 33 litros. El principio de funcionamiento es el bombeo de agua en el interior del sistema para recircular el agua a temperatura ambiente y permitir el intercambio de calor en las paredes del serpentín.

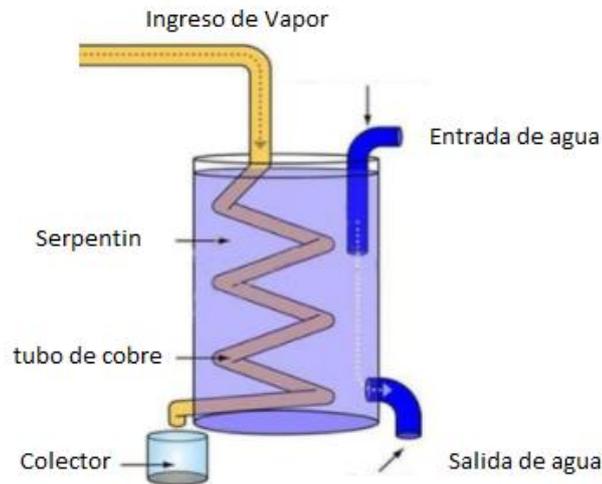


Figura 13. Diseño del intercambiador.

Fuente: Tomado de (Melendez, 2015, p. 22).

a) Cálculo del calor a quitarse al vapor de alcohol para que se condense

Para los valores de entalpías, densidades y demás valores considerados dentro de las propiedades del alcohol etílico se trabajará con el Libro de Termodinámica de Cengel, Quinta edición.

- **Calor latente**

$$Q_L = \dot{m} * h_{fg} \quad (7)$$

Donde:

Q_L : calor latente

\dot{m}_A : flujo másico del alcohol

h_{fg} : calor latente de evaporización (855 kJ/kg) ANEXO F

Densidad del alcohol etílico: 0,789 kg/lt

Para calcular el flujo másico se divide la masa para las 8 horas de trabajo

$$m_A = \delta * V$$

$$m_A = 0,789 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} * 320\text{lt}$$

$$\dot{m}_A = \frac{315,6 \text{ kg}}{8 \text{ horas}} = 39,45 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Debido a que el volumen de trabajo está formado por agua y considerando que únicamente el etanol cambia de fase se ha trabajado con un porcentaje del 15% que corresponde a la relación de producción esperada en función de los grados de alcohol (Cholota & Mora, 2010).

$$\dot{m}_A = 39,45 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,15$$

$$\dot{m}_A = 5,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q_L = \dot{m}_A * h_{fg}$$

$$Q_L = 5,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 855 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_L = 5059,46 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

- **Calor sensible (calor que se genera con la variación de temperatura dentro del tanque)**

El fluido ingresa al intercambiador de calor a 80°C y sale a 30°C (353 y 303°K respectivamente)

$$Q_S = \dot{m}_A * C_{pA} * \Delta T \quad (8)$$

Donde:

C_{pA} : calor específico del alcohol (2,84 kJ/kg.K)

ΔT : variación de temperatura

$$Q_S = \dot{m}_A * C_{pA} * \Delta T$$

$$Q_S = 5,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} * (353 - 303)^\circ\text{C}$$

$$Q_S = 839,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

- **Calor total**

$$Q_T = Q_L + Q_S$$

$$Q_T = 5059,46 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 839,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_T = 5898,68 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

b) Cálculo del caudal másico de agua requerido

El agua ingresa a 20 °C y sale a 30 °C

$$Q_{\text{perdido(alcohol)}} = Q_{\text{ganado(agua)}}$$

$$Q_{\text{perdido(alcohol)}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p\text{H}_2\text{O}} * \Delta T \quad (9)$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{Q_{\text{perdido(alcohol)}}}{C_{p\text{H}_2\text{O}} * \Delta T}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{5898,68 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} * (303 - 293)^\circ\text{K}}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 140,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

c) Cálculo de la temperatura Tx o de consigna

El calor de condensación corresponde al calor latente

$$Q_{\text{condensacion}} = Q_{\text{ganado(agua)}}$$

$$5059,46 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} * C_{p\text{H}_2\text{O}} * \Delta T$$

$$5059,46 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 140,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} * (303^\circ - T_x)$$

$$T_x = 30^\circ - \frac{140,91 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{5059,46 \frac{\text{kJ}}{\text{h} \cdot ^\circ\text{K}}}$$

$$T_x = 302,97^\circ\text{K} = 29,97^\circ\text{C}$$

d) Cálculo del DTML (variación media logarítmica de la temperatura) para condensación y enfriamiento

A medida que los flujos recorren por el serpentín, la gradiente de temperatura varía en función de la posición. Para tener una idea más clara del proceso se aplicará el cálculo de

DTML en los procesos de enfriamiento y condensación del proceso. Se asume que la temperatura de materia orgánica y el fluido frío se mueven en contraflujo por el condensador.

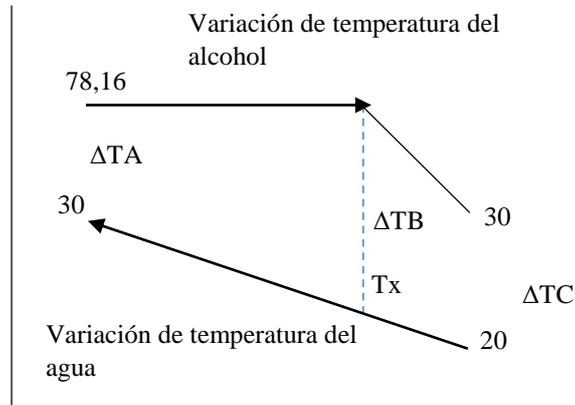


Figura 14. Variación de la temperatura del condensador.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

$$DTML_C = \frac{\Delta TA - \Delta TB}{\ln \frac{\Delta TA}{\Delta TB}} \quad (10)$$

$$DTML_C = \frac{(78,16 - 30) - (78,16 - 29,97)}{\ln \left(\frac{(78,16 - 30)}{(78,16 - 29,97)} \right)}$$

$$DTML_C = \frac{-0,03}{-0,0006} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$DTML_E = \frac{\Delta TB - \Delta TC}{\ln \frac{\Delta TB}{\Delta TC}}$$

$$DTML_E = \frac{(78,16 - 29,97) - (30 - 20)}{\ln \left(\frac{(78,16 - 29,97)}{(30 - 20)} \right)}$$

$$DTML_E = \frac{38,19}{4,82} = 24,28^{\circ}\text{C}$$

a) Tamaño del serpentín

De acuerdo con los cálculos realizados se necesitan 140,91 kg/h de agua refrigerante para mantener una temperatura que no supere los 30°C. El intercambiador de calor funcionara con un flujo en paralelo. Esta cantidad de refrigerante será empleada en la siguiente área de intercambio de calor:

$$A_{\text{serpentin}} = \frac{Q}{U_{\text{serpentin}} * DTML} \quad (11)$$

Donde:

$U_{\text{serpentin}}$: coeficiente global de transmisión de calor (1000 W/m² °C) (TLV, 2021)

Considerando que 1 kJ/h equivale a 0,3 W se realiza la transformación de calor

$$A_{\text{serpentin}} = \frac{5898,68 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 24,28^\circ\text{C}}$$

$$A_{\text{serpentin}} = \frac{1638,5\text{W}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} * 24,28^\circ\text{C}}$$

$$A_{\text{serpentin}} = 0,0674 \text{ m}^2$$

Para calcular la longitud del serpentín se emplea la siguiente ecuación. El diámetro del es de 1 pulgada y ha sido considerado por el autor por tratarse del diámetro más empleado en la fabricación de serpentines.

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{A_{\text{serpentin}}}{\pi D_{\text{serpentin}}} \quad (12)$$

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{0,0674 \text{ m}^2}{\pi(0,0254)\text{m}}$$

$$L_{\text{serpentin}} = 0,84 \text{ m}$$

El número de vueltas del serpentín se calcula mediante la siguiente ecuación

$$n = \frac{L_{\text{serpentin}}}{\pi D_{\text{serpentin}}} \quad (13)$$

$$n = \frac{0,84 \text{ m}}{\pi(0,0254\text{m})}$$

$$n = 10,53 \approx 11 \text{ vueltas}$$

Determinación del paso

$$p = 1,5 \cdot d_e$$

$$p = 1,5 \cdot 25,4 \text{ mm}$$

$$p = 38,1 \text{ mm}$$

e) **Cálculo de la potencia térmica del intercambiador de calor**

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (14)$$

$$P = 5,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{K}} * (353 - 303)^\circ \text{K}$$

$$P = 839,22 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$P = 0,2331 \text{ kW}$$

a) **Modelamiento CAD del intercambiador de calor para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico**

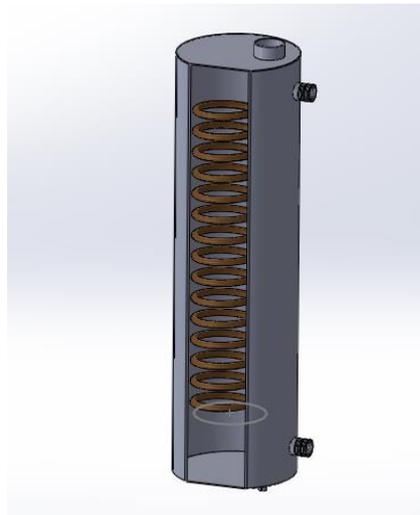


Figura 15. Modelo del intercambiador de calor mediante serpentín.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

11.2.3 Tuberías y accesorios para el diseño de la destiladora industrial de alcohol étlico

Las tuberías son de forma circular ya que de esta forma son más eficientes por motivo de que existe menos pérdida de presión generalmente las tuberías se utilizan para el transporte de fluidos o gases. Por lo cual utilizaremos tubería de cobre de 12.7 mm por soportar condiciones severas de temperatura y presión la misma que se utilizara para el condensador (serpentín de cobre) y el traslado de vapores del evaporador al condensador, la tubería de acero AISI 304 inoxidable de 38 mm resistente a la corrosión del medio ambiente, agua, ácidos entre otros, se adaptara a la entrada y salida de fluido del sistema de enfriamiento (Monge, 2019).

Características de tubería de cobre 12.7 mm

Tabla 13. Características de tubería de cobre 12.7 mm y ½”.

Medida nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
3/8” 9.50 mm	0.500” 12.700	0.402” 10.210	0.049” 1.245	0.269 0.400	5.385 2.445	8,820 620.04	1.760 124.00	1.754 6.640
½” 12.7 mm	0.625” 15.875	0.527” 13.385	0.049” 1.245	0.344 0.512	6.890 3.128	7,056 496.03	1.411 99.19	3.304 12.507
¾” 19 mm	0.875” 22.225	0.745” 18.923	0.065” 1.651	0.640 0.954	12.81 5.817	6,685 469.95	1.337 93.99	8.611 32.594
1” 25 mm	1.125” 28.575	0.995” 25.273	0.065” 1.651	0.840 1.250	16.79 7.627	5,200 209.00	1.040 73.11	19.826 75.042
1 ¼” 32 mm	1.375” 34.925	1.245” 31.623	0.065” 1.651	1.041 1.549	20.82 9.454	4,260 299.47	852 59.89	34.940 132.270
1 ½” 38 mm	1.628” 41.275	1.481” 37.167	0.072” 1.829	1.361 2.026	27.23 12.363	3,988 280.35	797 56.02	56.074 212.240
2” 51 mm	2.125” 53.975	1.959” 49.759	0.0083” 2.108	2.026 3.070	41.24 18.727	3,515 247.10	703 49.42	120.158 454.800

Fuente: (Nacobre. S.A., 2017).

Tabla 14. Características mecánicas de tubería de acero AISI 304 de 38 mm.

Resistencia mecánica (N/mm²)	Punto de fluencia (N/mm²)	Elongación %Min.	Dureza Rockwell B
520	220	20	249 – 278

Fuente: (DIPAG, 2017).

Accesorios

Acople de cobre. Es un accesorio que en sus extremos son hembras cuya función es unir dos conexiones con terminación macho del mismo diámetro y en misma dirección, el acople a utilizar es de 38 mm viene con una ranura roscable para acoplamiento sin fugas y estabilidad (Nacobre. S.A., 2017, pág. 9).

Codo de cobre. Es un accesorio de forma curva que se instalan entre dos longitudes de un tubo mismo que permite el cambio de dirección de un fluido o gas, el mismo que tiene un diámetro de 38 mm, mismo que son roscables en sus extremos (Nacobre. S.A., 2017, pág. 10).

11.3 Selección de las resistencias eléctricas para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

La determinación de las resistencias es importante para alcanzar la temperatura ideal del sistema de ebullición el cual oscila entre 70 a 80 °C, por lo tanto, mediante diferentes catálogos comerciales se dispone las siguientes resistencias.

Tabla 15. Características de la resistencia eléctrica.

TUBO	TEMP. MAX	W/ pulg	W/cm.
Cobre	350°F(180°C)	65	10
Acero	750°F(400°C)	20	3
Acero Inoxidable	1200°F(650°C)	30	5
Incoloy	1600°F(870°C)	40	6
Tensión 120,240,480,550 V			

Fuente: (Polimex, 2017, p. 4).



Figura 16. Tipo circular de la resistencia eléctrica.

Fuente: Tomado de (Polimex, 2017, p. 4).

Cálculos para la resistencia

a) Resistencias térmicas

$$R_{conveccion} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} \quad (15)$$

$$A_i = \pi D_i L$$

hi se determinó del ANEXO A, para una temperatura de 80 °C y una concentración del 70%

Diámetro interno: 800 mm

Longitud: 800 mm

Espesor de las paredes: 2 mm

Diámetro Externo: 806 mm

$$R_{conveccion_i} = \frac{1}{210 \frac{kW}{m^2 \cdot ^\circ C} * (\pi * 0,8 m * 0,8 m)}$$

$$R_{conveccion_i} = 0,00237 \frac{^\circ C}{kW}$$

$$R_{conveccion_e} = \frac{1}{210 \frac{kW}{m^2 \cdot ^\circ C} * (\pi * 0,802 m * 0,80 m)}$$

$$R_{conveccion_e} = 0,00236 \frac{^\circ C}{kW}$$

Resistencia térmica absoluta

$$R_t = \frac{L}{KA}$$

Donde:

L: longitud del material (m)

K: conductividad térmica del material (acero inoxidable = 16,3 W/m°C)

A: área (m²)

$$R_t = \frac{1}{0,0163 \frac{kW}{m^{\circ}C} * (\pi * 0,802 m * 0,80 m)}$$

$$R_t = 30,43 \frac{^{\circ}C}{kW}$$

Se obtiene el valor de la resistencia térmica total

$$R_{total} = R_{conveccion_i} + R_{conveccion_e} + R_t$$

$$R_{total} = 0,00237 \frac{^{\circ}C}{kW} + 0,00236 \frac{^{\circ}C}{kW} + 30,43 \frac{^{\circ}C}{kW}$$

$$R_{total} = 30,44 \frac{^{\circ}C}{kW}$$

La velocidad de perdida de calor es representada mediante:

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (16)$$

$$Q = \frac{80 - 30}{30,44}$$

$$Q = 1,65 kW$$

$$Q = 1642 W$$

Capacidad de la resistencia (CREADORESWEB.MX, 2020)

Diámetro de la resistencia: 1,587 cm

Longitud de la resistencia: 71,12 cm

$$A = \pi DL \quad (17)$$

$$A = \pi * 1,587 * 71,12$$

$$A = 354 cm^2$$

$$\mathbf{potencia\ de\ la\ resistencia = A * potencia} \quad (18)$$

$$potencia\ de\ la\ resistencia = 354\ cm^2 * 5\ W/cm^2$$

$$potencia\ de\ la\ resistencia = 1770\ W$$

Considerando que de acuerdo con la ley de Fourier el valor de velocidad de transferencia de calor es análoga a la corriente eléctrica, se determina que la intensidad de corriente requerida por el sistema es 1650 W. De acuerdo con la tabla 13 y en función del material seleccionado (acero inoxidable) se considera que se requiere únicamente de una resistencia para mantener la temperatura del fluido a 80° C, pues la potencia generada por la resistencia es superior a la requerida.

11.4 Dimensionamiento de la bomba de agua para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

Una máquina hidráulica cuyo funcionamiento es transportar el agua o en su defecto recircular el fluido, en el proceso de destilación es importante en el sistema de condensación porque de este depende la transformación de vapor – líquido de la destilación de alcohol etílico.

Para el dimensionamiento se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$Pu = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Donde,

Pu : potencia proporcionada al fluido

Q : caudal de fluido en m³/s;

H : altura ganada por el fluido a su paso por la bomba, en m;

ρ : densidad del fluido, en kg/m³;

g : 9,81 m/s².

Datos:

$\rho = 1\ kg/m^3$ del agua

$H = 1\ m$

$Q = 40\ L/min$ un caudal moderado para el sistema

$$\mathbf{Pu = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H} \quad (19)$$

$$Pu = 1 \cdot 9.81 \cdot 0.04 \cdot 1 = 0.39\ W$$

Según la potencia obtenida pequeña debido a que la altura no es considerable la que se tiene que bombear, pero comercialmente se escoge la de mínimo valor que cumple con las características de funcionamiento.

Modelo Model Modèle	Cod.	P2		I (A)			Ø		Altura manométrica / Height / Heteur (m)														
		kW	CV	1- 230V	3- 230V	3- 400V	Asp	Imp	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	
NIZA 4.2 M	7584	0,26	0,35	2,4	-	-	1"	1"	4000	3300	1200												
NIZA 4.3 M	7586	0,37	0,5	3,3	-	-	1"	1"	4500	3800	3400	2500	1600										
NIZA 4.4 M	7588	0,55	0,75	3,9	-	-	1"	1"	4800	4200	4000	3500	2800	2100	300								
NIZA 4.5 M	7602	0,75	1	5,0	-	-	1"	1"	5000	4500	4200	3800	3300	2800	2200	1600	500						
NIZA 4.5 T	7603	0,75	1	-	3,3	1,9	1"	1"	5000	4500	4200	3800	3300	2800	2200	1600	500						
NIZA 6.3 M	7604	0,6	0,8	4,0	-	-	1"	1"	5500	5100	4800	3900	2800	1000									
NIZA 6.3 T	7605	0,6	0,8	-	2,8	1,6	1"	1"	5500	5100	4800	3900	2800	1000									
NIZA 6.4 M	7590	0,75	1	4,6	-	-	1"	1"	5700	5400	5000	4600	4200	3800	3000	1500							
NIZA 6.4 T	7591	0,75	1	-	3,4	2,0	1"	1"	5700	5400	5000	4600	4200	3800	3000	1500							
NIZA 6.5 M	7592	0,96	1,3	6,0	-	-	1"	1"	6000	5700	5400	5100	4800	4400	4100	3400	2700	1200					
NIZA 6.5 T	7593	0,96	1,3	-	4,1	2,4	1"	1"	6000	5700	5400	5100	4800	4400	4100	3400	2700	1200					
NIZA 6.6 M	7606	1,1	1,5	7,0	-	-	1"	1"	6200	6000	5800	5500	5200	4800	4400	4000	3600	3200	2500	1400			
NIZA 6.6 T	7607	1,1	1,5	-	4,8	2,8	1"	1"	6200	6000	5800	5500	5200	4800	4400	4000	3600	3200	2500	1400			
NIZA 10.3 M	7594	0,75	1	6,1	-	-	1 1/2"	1 1/2"	9200	8500	7400	6500	5200	4200	2000								
NIZA 10.3 T	7595	0,75	1	-	4,3	2,4	1 1/2"	1 1/2"	9200	8500	7400	6500	5200	4200	2000								
NIZA 10.4 M	7596	1,1	1,5	7,7	-	-	1 1/2"	1 1/2"	9800	9200	8400	7600	6800	5900	5100	4000	2500	500					
NIZA 10.4 T	7597	1,1	1,5	-	5,2	3,1	1 1/2"	1 1/2"	9800	9200	8400	7600	6800	5900	5100	4000	2500	500					
NIZA 10.5 M	7598	1,5	2	9,5	-	-	1 1/2"	1 1/2"	10500	9800	9100	8400	7900	7200	6500	5800	5100	4200	2300	600			
NIZA 10.5 T	7599	1,5	2	-	6,8	4,0	1 1/2"	1 1/2"	10500	9800	9100	8400	7900	7200	6500	5800	5100	4200	2300	600			
NIZA 10.6 T	7600	2,2	3	-	8,0	4,6	1 1/2"	1 1/2"		10600	10200	9600	9400	8700	8200	7600	7000	6400	5700	5000	4400	2000	

Figura 17. Características técnicas de la bomba Serie NIZA Turbina Inox.

Fuente: Catálogo bombasniza.

11.5 Diseño del tanque reservorio de agua para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

a) Tamaño del tanque reservorio

Se selecciona un tubo de acero inoxidable de forma cilíndrica, de diámetro comercial 4 pulgadas chapa 40 el cual posee las siguientes características (Espinal V. , Jimenez, Kelvin, & Francisco, 2009).

Diámetro interno: 4 pulgadas o 102 mm

Longitud: 1 m

Espesor de las paredes: 2 mm

Para los cálculos de resistencia se requiere conocer la presión de vapor saturado de la mezcla a 80 °C que es la temperatura esperada para el intercambiador de calor.

$$P_{vap} = \exp\left(A - \frac{B}{C+T}\right)$$

Tabla 16. Valores de presión en estado de saturación

	C2H5OH	H2O
A	16.6758	16.2620
B	3674.49	3799.89
C	226.45	226.35

(Espinal, Jimenez, & Peraza, Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico., 2009)

Reemplazando los valores se obtiene las presiones a la temperatura en estado puro.

$$P_{vap}(etanol) = 116,65 \text{ KPa}$$

$$P_{vap}(H2O) = 51,15 \text{ KPa}$$

Conociendo que el valor inicial de mezcla es de 50%

$$P = x_{etanol} |P_{vap}(etanol) - P_{vap}(H2O)| + P_{vap}(H2O) \quad (20)$$

$$P = 0,5 * |116,65 \text{ KPa} - 51,15 \text{ KPa}| + 51,15 \text{ KPa}$$

$$P = 83,9 \text{ KPa}$$

Esfuerzo tangencial

$$St = \frac{P * Di}{2e} \quad (21)$$

$$St = \frac{83,9 \text{ KPa} * 102 \text{ mm}}{2 * 2,413 \text{ mm}}$$

$$St = \frac{8557,8}{4,826} = 1773,27 \text{ kPa}$$

Esfuerzo longitudinal

$$Sl = \frac{St}{2} \quad (22)$$

$$Sl = \frac{1773,27 \text{ kPa}}{2}$$

$$Sl = 886,63 \text{ kPa}$$

Esfuerzo de fluencia del material

$$S_y = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\left(St - \frac{St}{2} \right)^2 + \left(\frac{St}{2} \right)^2 + St^2 \right)^{1/2} \quad (23)$$

$$S_y = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\left(1773,27 - \frac{1773,27}{2} \right)^2 + \left(\frac{1773,27}{2} \right)^2 + 1773,27^2 \right)^{1/2}$$

$$S_y = 1535,69 \text{ kPa}$$

Como S_y es mayor que el valor de P se deduce que el recipiente seleccionado si resiste las condiciones de trabajo.

b) Flujo de corriente

Temperatura del agua, 20 °C

$$Re = \frac{\delta * V * D}{\mu} \quad (24)$$

Donde:

δ : densidad del fluido (kg/m³)

V : Velocidad media (m/s)

D : diámetro de la tubería (m)

μ : viscosidad absoluta (kg/m.s) 0,001003 kg/m.s según el ANEXO D

Las velocidades recomendadas para tuberías de succión y descarga de fluidos son:

$$V_s = (0,6 - 2,2) \text{ m/s}$$

$$V_d = (2,4 - 7,5) \text{ m/s}$$

En este caso se trabajará con 1,4 m/s que corresponde a la media de los valores recomendados para succión.

$$Re = \frac{1000 * 1,4 * 0,0254}{0,001003}$$

$$Re = 35453,64$$

Si $Re < 2000$ es un flujo laminar

Si $Re > 4000$ es un flujo turbulento

c) Temperatura de condensación

- **Cálculo de los coeficientes convectivos**

Cálculo de entalpia (h_i), condensación de película en el interior de la tubería. Para el proceso de producción del alcohol se requiere temperaturas de entre 78,5 y 78,16°C dando una temperatura de trabajo de:

$$Tf = \frac{Ts_{at} + Tw}{2} \quad (25)$$

$$Tf = \frac{78,5 + 78,16}{2}$$

$$Tf = 78,33 \text{ } ^\circ C$$

En base a esta temperatura buscamos las propiedades del agua ANEXO E

- Densidad $\delta = 972,6 \text{ kg/m}^3$
- Densidad de vapor $\delta v = 1,59 \text{ kg/m}^3$
- Conductividad térmica $Kf = 0,671 \frac{W}{m \cdot C}$
- Calor específico $Cp = 4,193 \frac{kJ}{kg \cdot C}$
- Viscosidad del líquido $\mu f = 3,59 \times 10^{-4} \frac{kg}{m \cdot s}$
- Entalpia $h_{fg} = 2257 \text{ kJ/kg}$

$$h_i = 0,555 \left(\frac{\delta(\delta - \delta v)g \cdot kf^3}{\mu f(Ts_{at} - Tw)} \left(h_{fg} + \frac{3}{8} * Cp(Ts_{at} - Tw) \right) \right)^{1/4} \quad (26)$$

$$h_i = 0,555 \left(\frac{972,6(972,6 - 1,59) * 9,81 * 0,671^3}{3,59 \times 10^{-4}(78,5 - 78,16)} \left(2257 + \frac{3}{8} * 4,193(78,5 - 78,16) \right) \right)^{1/4}$$

$$h_i = 1488,69 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$$

- **Cálculo de la temperatura real de la pared del condensador**

$$Q = 5898,68 \frac{kJ}{h} = 1,63 \text{ kW calor disipado en la condensación}$$

$$Q = h_i * D * L * \pi \left(Tw - \frac{Te + Ts}{2} \right) \quad (27)$$

$$Tw = \frac{Q}{h_i * D * L * \pi} + \frac{Te + Ts}{2}$$

$$T_w = \frac{1630 \text{ W}}{1488,69 * 0,0254 * 0,84 * \pi} + \frac{80 + 30}{2}$$

$$T_w = 41,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{78,16 + 41,34}{2}$$

$$T_f = 59,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor por enfriamiento (he)**

Convección natural en superficies inferiores

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (28)$$

$$T_b = \frac{78,16 + 30}{2}$$

$$T_b = 54,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{54,08 + 41,34}{2}$$

$$T_f = 47,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al analizar los procesos de convección se determina que la temperatura fílmica en el proceso de enfriamiento alcanza los 47,74 °C; la misma corresponde a la temperatura del agua para una condensación constante en la que existe una transferencia de calor por convección entre los elementos del intercambiador.

a. **de operación**

- **Cálculo del tiempo de calentamiento (Tc)**

$$m_{vcs} = \frac{m_s * Cps * \Delta T}{h_{fg}} \quad (29)$$

Donde:

ms: masa del sistema

Cps: Calor específico del acero inoxidable (0,451 kJ/kg°K)

ΔT: Variación de temperatura ambiente y la del vapor

$$m_{vcs} = \frac{140,91 \text{ kg} * 0,451 \text{ kJ/kg}^0\text{K} * (78,16 - 30)}{2257 \text{ kJ/kg}}$$

$$m_{vcs} = 1,36 \text{ kg}$$

Masa de vapor requerida para calentar el material vegetal

$$m_{vch} = \frac{m_h * C_{ph} * \Delta T}{h_{fg}}$$

Donde:

m_h : masa del material vegetal

C_{ph} : Calor específico del material vegetal (2,84 kJ/kg⁰K)

ΔT : Variación de temperatura ambiente y la del vapor

$$m_{vcs} = \frac{315,6 \text{ kg} * 2,84 \text{ kJ/kg}^0\text{K} * (78,16 - 30)}{2257 \text{ kJ/kg}}$$

$$m_{vcs} = 19,12 \text{ kg}$$

Masa de vapor total de calentamiento

$$m_{ct} = m_{vch} + m_{vcs} \quad (30)$$

$$m_{ct} = 1,36 \text{ kg} + 19,12 \text{ kg}$$

$$m_{ct} = 20,48 \text{ kg}$$

Tiempo de calentamiento

$$T_c = \frac{m_{ct}}{m_A} \quad (31)$$

$$T_c = \frac{20,48 \text{ kg}}{5,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}$$

$$T_c = 3,46 \text{ h}$$

- **Cálculo del tiempo de extracción (Te)**

$$T_e = t_1 * \sqrt{1 + \frac{H}{Sl}} \quad (32)$$

Donde:

t1: tiempo básico requerido para condensar el alcohol

Sl: Parámetro de incremento de la cantidad de alcohol (16 cm corresponde al 20% de espacio vacío en el tanque)

H: altura del serpentín

$$T_e = 2 \text{ h} * \sqrt{1 + \frac{0,84 \text{ m}}{0,16 \text{ m}}}$$

$$T_e = 4,25 \text{ h}$$

- **Cálculo del tiempo del proceso (Tpr)**

$$T_{pr} = T_c + T_e \quad (33)$$

$$T_{pr} = 3,46 \text{ h} + 4,25 \text{ h}$$

$$T_{pr} = 8: 11 \text{ h}$$

Elementos a utilizar en el diseño de la destiladora industrial de alcohol

11.6 Manómetro analógico para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

El manómetro analógico de la serie tipo A le ofrece la oportunidad de registrar presiones absolutas para líquidos y para todos los gases no agresivos, su fácil acoplamiento al sistema de presión lo hacen que lea de forma rápida de la presión absoluta, contiene una carcasa de acero inoxidable que a hace resistente a golpes y garantiza un trabajo en condiciones extremas como industria o talleres. (PCE Instruments., 2019)



Figura 18. Manómetro Analógico.

Fuente: Catálogo PCE. Inst. (2019).

Tabla 17. Características técnicas del manómetro tipo A.

Características	Unidades
Material	Carcasa acero inoxidable
Unidas de presión	Bar
Rango de medición	0 – 6 bar
Conexión de presión	Rosca exterior G 1/4"
Precisión	±0,6 % del valor final

Fuente: Catalogo (PCE Instruments., 2019).

11.7 Medidor de temperatura Analógico para el diseño de una destiladora de alcohol etílico

Termómetro a Cadran Horizontal De 63 mm , 0-120 °C, Este termómetro se utiliza principalmente para medir la temperatura del líquido. Su rango de medición es 0-120 ° C. características: Hecho de caja de aluminio, resistente para el uso. montaje de horizonte. 63mm marcar con escala de temperatura, fácil de leer. (ManoMano, 2020)



Figura 19. Termómetro a Cadran Horizontal De 63 mm , 0-120 °C.

Fuente: Catálogo (ManoMano, 2020).

Tabla 18. Características técnicas del Termómetro a cadran horizontal.

Características	Unidades
Material	Aluminio-Laton
Unidas de presión	°C
Rango de medición	0 – 120 bar
Diámetro	63mm
Presión	16 bar

Fuente: Catálogo (ManoMano, 2020).

11.8 Sensor de nivel para el diseño de la destiladora industrial de alcohol etílico

Sensor De Nivel Capacitivo Nc, 24vdc

Los medidores de Nivel Capacitivos utilizan la capacitancia entre el sensor y la sonda de referencia o la pared metálica del depósito para calcular el nivel del medio de acuerdo a la teoría de la capacitancia del sensor. Utilizados para la medición de líquidos, polvos, y sólidos sean estos conductivos o no conductivos (NIKRONAUTOMACION, 2011).



Figura 20. Sensor De Nivel Capacitivo Nc, 24vdc.

Fuente: Swisessor (2020).

Tabla 19. Características del sensor de nivel.

Características	Unidades
Detector	Líquidos y solidos
Rango de temperatura	0 a 125 °C
Alimentación	24V DC

Fuente: Swisessor (2020).

11.9 Trasmisor de temperatura termocupla Tipo K para el diseño de la destiladora

industrial de alcohol etílico

Las termocuplas son sensores de temperatura utilizados industrialmente, mismas que son hechas a base de alambres de distinto material unidos por medio de suelda en uno de sus extremos, al momento de aplicar temperatura en la unión de estos metales se genera un pequeño voltaje en la magnitud de milivoltios que aumenta según la temperatura. La termocupla tipo K es ideal para trabajar en el proyecto por sus características de trabajar en fundición, hornos, entre otros, por motivo que soporta temperaturas menores a 1300 °C. (ARIAN: Control & Instrumentación, 2017, pág. 2).



Figura 21. Termocupla tipo K.

Fuente: Catalogo de ElectroPro, 2019.

Tabla 20. Características técnicas termocupla tipo K.

Cable +	Cable –	°C	Rango mV
Alineación	Alineación	(min / max)	
Níquel / Cromo	Cromo / Níquel	-180 / 1372	54.8

Fuente: (ARIAN: Control & Instrumentación, 2017)

11.10 Siemens LOGO 12/24RCE con display - 6ED1052-1MD08-0BA1 V8.3

El PLC siemens logo es el autómata más pequeño que fabrican, diseñado y utilizado para realizar automatizaciones domesticas o pequeñas aplicaciones industriales, lo que hace muy económico para su compra, pero aunque parezca pequeño, posee grandes características en cuanto a hardware y software, en el uso de las entradas y salidas; posee módulos de expansión que permiten ampliar sus conexiones y el lenguaje que usa que es 100% gráfico y muy fácil de aprender (Codigo Electronica, 2017).



Figura 22. Siemens LOGO 12/24RCE con display.

Fuente: Catalogo siemens logo.

12. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El proyecto ha permitido establecer un conjunto de conocimientos a nivel técnico como procesos de manufactura en este caso la destilación de alcohol etílico a base de materia prima (agave americana). La destiladora industrial establece un volumen total de trabajo de 320 litros, en la cámara de ebullición y un sistema de bombeo para el intercambiador de calor para la transformación del estado de vapor a líquido del alcohol etílico. El sistema durante su flujo de proceso establece la recepción del chawarmishky, un filtrado previo para reducir residuos para el proceso de destilación, se fermentan por un tiempo determinado según sea la cantidad volumétrica de materia prima.

La destilación dentro de la cámara de ebullición es importante porque se debe mantener una temperatura estimada de 70 a 80 °C y establecer un hermetizado completo del sistema para ello se ejecutó un ajuste en la tapa superior y las tuberías de acoplamiento con el objetivo de evitar la salida de vapor y el cambio de temperatura durante la destilación.

El intercambiador se estableció un serpentín de cobre para el transporte de vapor por la parte interna del intercambiador, de la misma forma posee un cilindro exterior que está conectado a una entrada y salida de tuberías para el bombeo de agua fría de manera cíclica por la parte interna del intercambiador de calor y completar la destilación del alcohol etílico. Para el accionamiento del bombeo se implementa tuberías y en especial el dimensionamiento de la bomba para que no exista ningún problema en el accionamiento, es importante acotar que al ser

un sistema pequeño no es necesario una bomba de gran capacidad el rango estaría menor a 1 HP.

El dimensionamiento se ejecuta a partir de la cantidad de materia prima que se desea destilar y a fin de mantener el costo beneficio de la producción de alcohol etílico, por lo tanto, el diseño de la misma se desarrolla mediante un software CAD SolidWorks para dimensionar cada una de las piezas a partir de dos dimensiones y mediante extrusiones conformar un conjunto de piezas mecánicas 3D para el ensamblado y verificar que las medidas, el acoplamiento sean los correctos.

12.1 Diseño CAD del sistema de la destiladora industrial de alcohol etílico

El dimensionamiento del sistema estructural y mecánico se desarrolla mediante un software asistido por computador, compuesto por una cámara de ebullición, una base para proporcionar una estabilidad del sistema y el acoplamiento de tuberías para el transporte del líquido evaporado y llegar hasta el intercambiador para el cambio de estado.

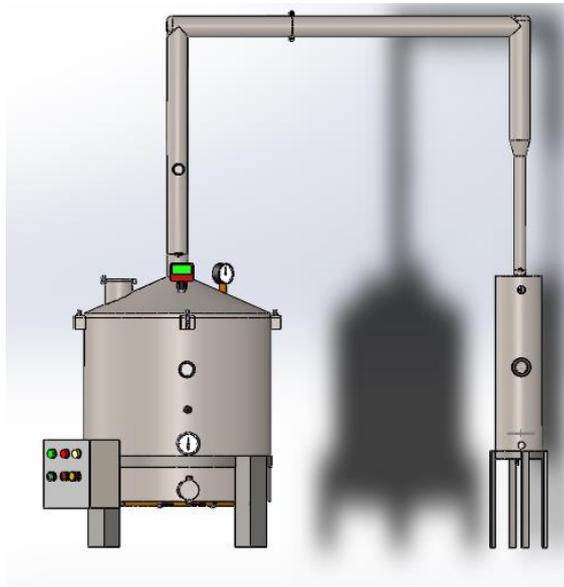


Figura 23. Ensamble del sistema de destiladora de alcohol etílico.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

12.2 Diagrama P&ID de la destiladora industrial de alcohol.

¿Qué es un P&ID?

Un P&ID es lo que se define como un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) también conocido del idioma inglés como piping and instrumentation diagram (P&ID) y es un diagrama

que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental (PIROBLOC, 2017).

A continuación, se representa el diagrama P&ID de la destiladora industrial de alcohol donde se muestra el ingreso del producto fermentado preparado para la destilación, en la cámara de ebullición se encuentran instalados un indicador de temperatura termocupla tipo k que se representa TI-100 montado en campo, un indicador de presión manómetro tipo A que se representa PI-100 montado en campo, un sensor de nivel que se representa con LI-100 montado en campo posteriormente la tubería de vapor que lleva al intercambiador de calor el vapor de la cámara de ebullición, este intercambiador de calor está activado por una bomba que recircula el agua para condensar el vapor, en la salida del intercambiador de calor se obtiene el alcohol etílico.

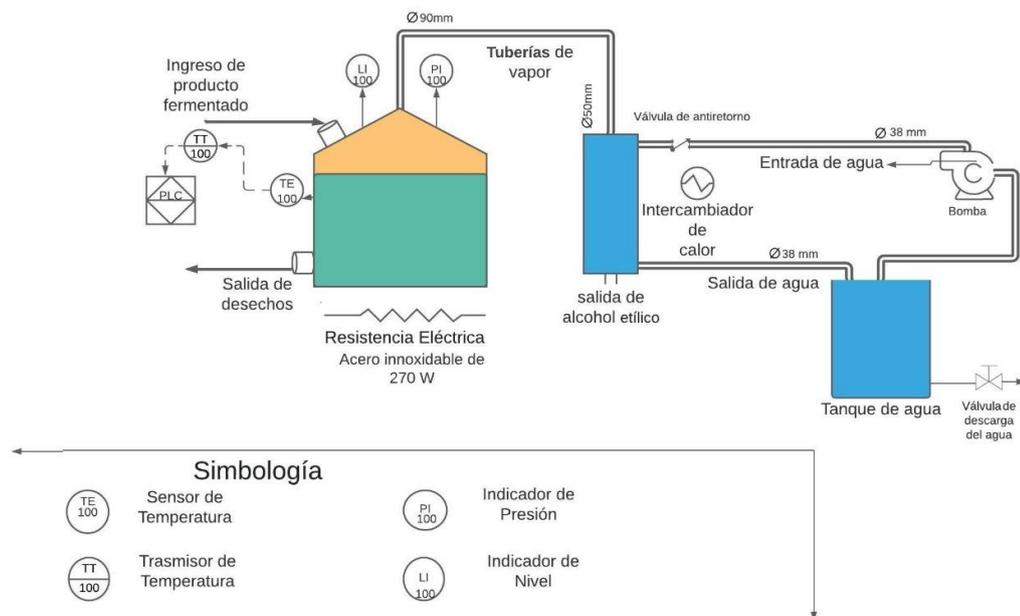


Figura 24. Diagrama P&ID de la destiladora industrial de alcohol.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

12.3 Procesos para la obtención de alcohol etílico a escala industrial por fermentación del agave americana

- Recepción del agave americana o (chaguarmishqui) .- Para la obtención del chaguarmishqui este previamente es producido en el corazón del agave americana, donde se realiza una perforación grande donde se coloca agua y se la deja tapada, luego de un promedio de 8 días se retira el agua puesta con anterioridad, desde ese momento

en la perforación hecha se acumulara constantemente un agua dulce que se lo puede recoger durante un promedio de 30 días la misma que produce dependiendo la perforación hecha, pero oscila entre los 2 a 10 litros diarios de chaguarmishqui (Araujo, 2017, p.5).

- Filtrado. - En este proceso se realiza un filtrado de forma total al líquido chaguarmishqui de este modo no contendrá sustancias o residuos del corazón de la planta mismos que pueden alterar su proceso de fermentación, con esto quedando una materia líquida sin impurezas. Sin embargo, este proceso se lo puede realizar también antes de la maduración del alcohol etílico comenzando con una filtración en frío a través de un filtro de carbón que remueve el exceso de compuestos grasos que pueden dar una apariencia turbia al alcohol, otros procesos de filtrado sirven para que no exista partículas presentes en el líquido y dan el acabado brillante al licor producido (Casa, 2018, p. 4).
- Inoculación. - En el proceso de inoculación se adhieren nutrientes y antibióticos que son necesarios cuando se realiza la fermentación, por ende, sin estas sustancias afecta al enriquecimiento de nutrientes en medio en la inoculación (sales de amonio) y no se inhibió con antibióticos (ampicilina) los microorganismos silvestres existentes en el mosto de la agave americana (Araujo, 2017, p. 58).
- Fermentación. - En esta fase del proceso, los azúcares presentes del mosto son transformados, por acción de las levaduras, en alcohol etílico y bióxido de carbono. En esta etapa, también se formarán otros compuestos que contribuirán a las características sensoriales finales del etanol los factores críticos a controlar en esta fase son, la temperatura 32 a 35°C y el pH 4-5 (Consejo regulador del tequila, 2019, p. 8).
- Sedimentación. - Para la sedimentación utilizamos la acción de la gravedad mediante una agitación en el recipiente donde se fermento el chaguarmishqui, para lograr realizar una solución para que esta sea destilada uniformemente (Araujo, 2017, p. 34).
- Destilación. - Una vez concluida la fase de fermentación, los mostos contienen cantidades mínimas de azúcares y a su vez, contienen cantidades representativas de alcohol, estas cantidades pueden variar de 4 a 10% de alcohol (Concejo, 2019). Por lo tanto, una vez concluida la fase de fermentación, es necesario llevar los mostos a destilación proceso que consiste en la separación de los constituyentes del mosto. La destilación alcohólica está basada en que el alcohol etílico siendo más ligero que el agua, se vaporiza a una temperatura menor que el punto de ebullición del agua, los vapores

pueden ser condensados y convertidos a forma líquida con un alto contenido alcohólico (Concejo, 2019).

- Producto final. - Como resultado de todo este proceso de destilación alcohólica a partir de la agave americana se obtiene un producto con un grado de alcohol entre 35 a 40° GL, su color característico es cristalino el mismo que puede ser apto para el consumo humano.

12.4 Diagrama De Flujo Del Proceso De Destilación Alcohólica



Figura 25. Diagrama de flujo para la obtención de alcohol etílico.

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

12.5 Parámetro de control necesario para el desarrollo del proceso de destilación alcohólica

El proceso de destilación se inicia con la elevación de la temperatura posteriormente pasa por las tuberías de evaporación hasta el intercambiador de calor. El Punto de evaporación comienza a partir de los 65°C esto se le llama cabeza del destilado y se desecha porque contiene metanol el cual es perjudicial para la salud, A partir de la elevación de la temperatura a 70 °C el alcohol

etílico comienza su punto de ebullición, mientras el parámetro a controlar es la temperatura que debe oscilar entre un rango de temperatura de ebullición de 70°C a 80 °C, por consecuente se obtiene alcohol etílico puro de 70° GL (graduación alcohólica) para la medición se utiliza un densímetro, esta graduación alcohólica va disminuyendo con el transcurso del tiempo hasta un llegar a 35 o 40° GL donde el proceso de destilación está terminando por ultimo queda la cola del destilado esto se lo desecha.

13. Impactos Técnicos, Sociales Y Económicos

El impacto técnico es beneficioso porque tranforma el trabajo de las destiladoras artesanales a destiladoras automaticas, donde se implementa un conjutno de dispositivos electromecanicos para el control de temperatura y el accionamiento del sistema de bombeo a fin de reducir costos de mantenimeitno, aumentar la productivdad y obtener un producto de calidad que satisface las necesidades de los usuarios.

El impacto social es importante a nivel local porque con este proyecto al ser implementado por diferentes ciudades se benefician los pobladores de la localidad porque muchos de ellos pueden ser empleados directos e indirectos para la producción de alcohol etílico esto por ejemplo en la siembra de agave americana, la cosecha, la producción, la venta entre otros factores que va a beneficiar a la sociedad.

El impacto económico es bueno por dinamiza la economía de la localidad y a futuro puede ser producida a gran escala a nivel regional, nacional y porque no con una gran proyección de manera internacional. Es decir, para la producción del alcohol etílico se necesitar de recursos humanos, recursos, financieros, recurso técnicos y tecnológicos por lo tanto la economía fluye en varias direcciones de compra y venta de productos.

14. Valoración económica y/o presupuesto para implementar la propuesta del proyecto

Costos Directos

Este tipo de gastos directos afecta de manera inmediata a la determinación del precio final de un producto (emprendepyme.net, 2017). Cuanto mayor sea la cantidad de costos directos en los que incurramos, mayor deberá ser el precio de venta, si lo que queremos es rentabilizar la misma y obtener un mínimo de beneficio (emprendepyme.net, 2017).

Costos Indirectos

El coste indirecto es aquel que afecta al proceso productivo de uno o más productos que vende una empresa, y que no puede medirse y asignarse directamente a una de las etapas productivas o a un producto concreto si no que hay que asumir un criterio de imputación coherente (Economipedia, 2019).

Para el detalle de los costos directos se tiene:

- Costo de las materias primas para elaborar el producto, en este caso el costo promedio para obtener el chaguarmishqui.
- Elementos que complementan el diseño de la destiladora
- Costos para la fabricación de la destiladora se establece la mano de obra, para ello se indica una duración de dos semanas según ciertas experiencias de varias empresas metalmecánicas siendo un costo promedio de 870 dólares.

Costos indirectos incide sobre varias actividades de la empresa y no se puede aplicar a un producto específico.

- Consumo de energía de la empresa.
- Mano de obra indirecta, las personas que no participan directamente en la producción de la empresa.

Tabla 21. Presupuesto de la destiladora industrial de alcohol.

Cant.	Detalle	Valor unitario	Total
1	Termocupla Tipo K	\$ 37.00	\$ 37.00
1	Bomba ½ HP 110 V	\$ 59.00	\$ 59.00
1	Manómetro 0 – 300 PSI	\$ 27.99	\$ 27.99
1	Resistencia eléctrica	\$ 175.00	\$ 175.00
4	Planchas de acero inoxidable AISI 304	\$ 274.00	\$ 1096.00

2	Acoples de tubería ½ plg	\$ 9.00	\$ 18.00
3	Acoples de tubería 4plg	\$ 15.00	\$ 45.00
1	Tubería de cobre (4 m)	\$ 22.50	\$ 22.50
3	Tubos de acero ASTM A36	\$ 35.00	\$ 105.00
1	Tubos de acero ASTM A36	\$ 27.00	\$ 27.00
1	Medidor de temperatura	\$ 15.00	\$ 15.00
1	Siemens LOGO 12/24RCE con display	\$ 161.18	\$ 161.18
1	Sensor De Nivel Capacitivo Nc, 24vdc	\$ 315.00	\$ 315.00
1	Programación para el Logo 12/24 RCE	\$ 300.00	\$ 300.00
Total			\$ 2403.67

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

El costo según todos los materiales a utilizar es de \$ 2403.67, a esto debemos sumarle el costo de mano de obra según ciertas experiencias de varias empresas metalmecánicas siendo un costo promedio de 870 dólares, Obteniendo un total de 3273.67 dólares un costo menor en comparación con ciertas destiladoras industriales con esas características, lo cual brinda a primera instancia una rentabilidad considerada de compra.

Los costos de producción para la obtención del alcohol etílico se debe considerar varios aspectos: el costo del Agave americana o chaguarmishqui tiene un promedio de 0.90 dólar el litro, insumos como levaduras un costo de 20 dólares, el costo de la energía eléctrica en el Ecuador es de 10,5 centavos kW/h a esto le multiplicamos al valor de la potencia de la resistencia eléctrica que es de 1650W dando un costo diario por 8h de trabajo de 1,32 dólares, el costo de la mano de obra para la producción inicial se establece un trabajador con un pago mensual de 400 dólares (sueldo básico). Es importante mencionar que la producción no es igual la entrada a la salida del producto sino es un porcentaje de 10%, es decir si la destiladora tiene la capacidad de 320 litros a la salida obtenemos un valor cercano de producción de 32 litros,

pero se desarrolla otro tratamiento para bajar los grados del alcohol y aumenta la producción final un promedio de 10% obteniendo finalmente 35.2 litros.

Tabla 22. Costos de producción diaria de la destiladora industrial de alcohol.

Costo de producción diaria (cada destilación)	Valor \$
Pago al trabajador diario promedio	\$ 13.33
Costo de chaguarmishqui (320 litros)	\$ 288.00
Energía eléctrica	\$ 1,32
Botellas de vidrio de 1 lt, 1,20 c/u	\$ 42.00
Extras, insumos, etiquetas, tapas	\$ 35.00
Costo total	\$ 379.65

Fuente: Elaborado por Avilés y Días (2021).

La venta de cada litro está en un promedio de 12 dólares, cabe mencionar que estos productos se pueden vender de diferentes formas y tamaños según sea las botellas. En una producción final diaria se obtiene 35 litros de alcohol. Por lo tanto, el costo de venta sería la producción final diaria por el costo de cada litro, siendo 420 dólares y a esto le reducidos el costo de producción diaria 379.65 dólares obteniendo una ganancia de 40.35 dólares diaria.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

15.1. CONCLUSIONES

1. Se Parte de un volumen de 400 Lt con cálculos analizados para requerimientos técnicos en cuanto al diseño y normas establecidas en la ASME, también normas INEN Para el modelado es necesario utilizar un software que se fundamente en el modelado, ensamblado de mecanismos y piezas mecánicas en 2D, 3D y la obtención de los planos de diseño, en el programa Solidworks.
2. Como resultados se puede ver que las láminas de acero inoxidable AISI 304 con 2 mm de espesor soportan las presiones que actúan dentro de la cámara de ebullición., además los

cálculos determinan que con una resistencia permite un tiempo de 3 horas con 46 min elevar la temperatura a 70°C y demora 4 horas en extraer el alcohol dentro de la mezcla.

3. Se establece la fase de fermentación a temperatura ambiente e ingresa a la cámara de ebullición para iniciar con el proceso de evaporación a una temperatura entre 70-80 °C, para que circule este vapor por los tubos conductores hasta el intercambiador de calor donde se transforma a líquido y finalmente se obtiene el alcohol etílico.

4. El análisis de costos de la destiladora industrial y su fabricación son aceptables debido a que su costo promedio de fabricación es 3273.67 dólares mientras que una máquina con similares características cuesta un tercio más del valor calculado, por lo tanto, el costo beneficio es mediante la ganancia diaria de 40,35 dólares, además es un equipo diseñado con todas las garantías de cada uno de sus componentes y del dimensionamiento. La durabilidad del equipo dependerá del uso.

15.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda añadir una válvula de alivio de presión en la cámara de ebullición en los casos extremos que sobrepasen los límites de presión para evitar posibles daños.

2. Para el proceso de calentamiento de la cámara de ebullición evitar llenar completamente el reservorio porque ocasionarían problemas de destilación y no proporciona un calentamiento adecuado. A futuro se puede profundizar el diseño de nuevos reservorios que permitan acaparar todo el volumen o diseño para una producción continua.

3. Mantener siempre en cuenta la variable que se va a controlar, para posterior implementación de un controlador por ende su rango de control ya que de esto depende el dimensionamiento del equipo o dispositivo a utilizar, con ello se garantiza su correcto funcionamiento y la durabilidad del sistema de destilación, caso contrario el proceso de mantenimiento podría ser costoso y elevar su valor de producción inicial.

17. BIBLIOGRAFÍA

Ambuludi, M. (2014). *Implementacion de un destilador simple para la obtencion de etanol a partir del penco azul (agave amereicana) para la planata de alimentos del campus Juan Lunardi Paute*. Obtenido de Repositorio UPS: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7479/1/UPS-CT004414.pdf>

Angurel, I. (2016). *Destilación*. Obtenido de Operaciones básicas en el laboratorio de química: http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/destilacio_tipus.html

Angurell, I. c. (2014). *Operaciones Basicas en el Departamento de Quimica*. Obtenido de Destilación: http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/destilacio_tipus.html

- Araujo, A. (2017). *Mejoramiento del proceso de destilación para la obtención de licor de agavácea andina en una torre de destilación*. Obtenido de Repositorio Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10460/1/T-UCE-0017-0014-2017.pdf>
- ARIAN: Control & Instrumentación. (2017). *¿Que són y como funcionan las termocuplas ?* Obtenido de ARIAN: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Arias, S. (Agosto de 2015). *Condiciones y medio ambiente*. Obtenido de juniorkdna.blogspot.com: <http://juniorkdna.blogspot.com/2015/08/condiciones-y-medio-ambiente-de-trabajo.html>
- ASME. (1968). *Rules for construction of Pressure Vessels Division 1 y 2*. Boiler and Pressure Vessel Code.
- Automation24. (2018). *Sistemas de control: Módulos de expansión*. Obtenido de Catalogo Automation24: Siemens: <https://www.automation24.es/siemens-logo-8-am2-6ed1055-1ma00-0ba2>
- Berlitz, L. (s/f). *Fermentaciones Industriales*. Obtenido de Biotech Consulting: <https://lilianaberlitz.com/fermentaciones-industriales/#>
- Casa, S. (2018). *Proceso de fabricación del tequila*. Obtenido de Casa Sauza: <https://www.casasauza.com/fabricacion-tequila#:~:text=La%20primera%20destilaci%C3%B3n%20se%20lleva,alcohol%20entre%2055%2D65%25>.
- Castillo, I. (2016). *Que es fermentación*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/fermentacionalcoholica/home>
- Chemical Safety Facts, O. (2018). *¿Qué es el etanol?* Obtenido de Chemical Safety Facts: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/etanol/>
- Cholota, L., & Mora, O. (2010). *Diseño, construcción y pruebas de un sistema prototipo para la producción de etanol a partir de la papa, zanahoria, remolacha y lasto de leche*. Obtenido de Repositorio ESPOCH: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/289/4/15T00430.pdf>
- Código Electrónica. (2017). *Que es un plc siemens logo*. Obtenido de Código Electrónica: <http://codigoelectronica.com/blog/que-es-un-plc-siemens-logo>
- Collado, Q. (2001). *Levaduras y la fermentación alcohólica*.
- Concejo, r. d. (2019). *Proceso de elaboración del tequila*. Obtenido de Concejo regulador del tequila: <https://www.crt.org.mx/index.php/es/el-tequila-3/elaboracion-normativa/63-proceso-de-elaboracion-de-tequila>
- Consejo regulador del tequila. (2019). *Proceso de Elaboración de Tequila*. Obtenido de Consejo regulador del tequila: <https://www.crt.org.mx/index.php/es/el-tequila-3/elaboracion-normativa/63-proceso-de-elaboracion-de-tequila>
- Cornejo, P. (2016). *Aplicaciones del alcohol etílico*. Obtenido de Repositorio Universidad autónoma de Hidalgo: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m7.html>
- Cortez, J. (2015). *Destilación*. Obtenido de Repositorio Universidad Pablo Olivares: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/basesFQ/Pract/ochonueve.pdf>
- CREADORESWEB.MX. (2020). *Polímex*. Obtenido de <https://www.polimex.mx/resistencias-tubulares/>
- Dequímica. (2021). *Destilación fraccionada*. Obtenido de Dequímica: <https://www.dequimica.info/destilacion-fraccionada>
- Dequímica. (2021). *Destilación simple*. Obtenido de Dequímica: <https://www.dequimica.info/destilacion-simple>
- DIPAG, P. d. (2017). *Eje AISI 304 inoxidable*. Obtenido de DIPAG: Productos de acero.: <http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>

- Duque, J. (2013). *Evaluación de los tres métodos de reproducción del penco azul (Agave americano), en la parroquia Tocachi, cantón Pedro Moncayo provincia Pichincha*. Obtenido de Repositorio UPS: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5068/6/UPS-YT00263.pdf>
- Duque, J. (2013). Evaluación de tres métodos de reproducción del penco azul (Agave Americana), en la parroquia Tocachi, cantón pedro mocayo provincia Pichincha. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5068/6/UPS-YT00263.pdf>
- ECN Automation. (2015). *Proceso de Fermentación Alcohólica*. Obtenido de ECN Automation: <https://ecnautomation.com/proceso-de-fermentacion-alcoholica/>
- Economipedia. (12 de 07 de 2019). *Coste indirecto*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/coste-indirecto.html>
- Edukativos.com. (2017). *Fermentación alcohólica*. Obtenido de <http://cabreramorenodj.blogspot.com/2017/02/la-fermentacion-alcoholica.html>
- empredpyme.net. (12 de 07 de 2017). *Costes directos*. Obtenido de emprendpyme.net: <https://www.empredpyme.net/costes-directos.html>
- Escudero, D. (2015). *Obtención de bioetanol a partir de inulina proveniente de biomasa vegetal mediante sacarificación y fermentación*. Obtenido de Repositorio UCE: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4516/1/T-UC-0017-111.pdf>
- Espinal, V., Jimenez, R., & Peraza, K. (2009). *Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico*. Obtenido de Repositorio Universidad del Salvador: http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1790/1/Dise%C3%B1o,_construccion_y_validacion_de_un_equipo_de_destilacion_de_alcohol_etilico.pdf
- Espinal, V., Jimenez, R., Kelvin, P., & Francisco, T. (2009). Diseño, construcción y validación de un equipo de destilación de alcohol etílico. (*tesis de ingeniería*). Universidad de El Salvador, ciudad universitaria. Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1790/1/Dise%C3%B1o%2C_construccion_y_validacion_de_un_equipo_de_destilacion_de_alcohol_etilico.pdf
- García, A. (2007). *Los agaves de México*. Obtenido de Repositorio UNAM: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/12113>
- Gomez, A., & Pérez, A. (Noviembre de 2018). *Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades*. Obtenido de Revista Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967
- Lanas, V. (2007). Análisis de los impactos socio-económicos y ambientales del uso de etanol anhidro como aditivo de la gasolina, en el marco del desarrollo de los biocombustibles y las energías renovables en el Ecuador. (*Tesis de Ingeniería*). UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, Quito. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/703/1/86356.pdf>
- Lidefer, C. (2018). *Destilación fraccionada: proceso, equipo, aplicaciones, ejemplos*. Obtenido de Lidefer: <https://www.lifeder.com/destilacion-fraccionada/>
- ManoMano. (11 de 01 de 2020). *manomano.es*. Obtenido de Sitio WEB: <https://www.manomano.es/p/termometro-a-cadran-horizontal-de-63-mm-0-120-ac-14663136>
- Martinez, C. (2017). *Formulación y fermentación de mostos para tequila*. Obtenido de Casa Sauza: Procesos del Tequila: <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/formulacion-fermetacion-mostos-tequila>
- Melendez, A. (2015). *Intercambiador de calor y columnas de destilación*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/andresarturom/intercambiador-de-calor-y-columnas-de-destilacion>
- Monge, M. (2019). *Las tuberías y su caracterización*. Recuperado el 29 de 1 de 2021, de Revista Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/tuberias-y-caracterizacion-parte-i>

- Nacobre. S.A. (2017). *Manual técnico Nacobre*. Obtenido de Industrias Nacobre:
https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut208/manual_tecnico_cobre.pdf
- Nieto, H. (2009). *Evaluación de las condiciones de la fermentación alcohólica utilizando Saccharomyces cerevisiae y jugo de caña de azúcar como sustrato para obtener etanol*. Obtenido de Repositorio ESPE:
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/990/1/T-ESPE-026782.pdf>
- NIKRON. (19 de 01 de 2011). *NIKRONAUTOMACION*. Obtenido de Sitio Web:
<https://nikron.com.ar/automacion/productos/nivel-controladores-de-nivel/>
- NIKRONAUTOMACION. (19 de 01 de 2011). *medidores de nivel capacitivo*. Obtenido de NIKRONAUTOMACION: <https://nikron.com.ar/automacion/productos/nivel-medidor-de-nivel-capacitivo/>
- Ninasunta, S., & Molina, H. (2014). *Aplicación del equipo de destilación en las practicas de labortorio de ciencias naturales en la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Obtenido de Repositorio UTC:
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1918/1/T-UTC-1794.pdf>
- Ortegui, E. (2018). *Destilación a vacío*. Obtenido de Ciencias: Material didactico:
<http://ciencia.elortegui.org/datos/TecLab/guiones/67%20Destilacion%20a%20vacio.pdf>
- Paez, A. (2018). *Tipos de fermentacion alcohólica*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/fermentacionalcoholica/tipos-de-fermentacion-alcoholica>
- PCE Instruments. (2019). *Manómetro analógico de la serie tipo A*. Obtenido de PCE Instruments.:
<https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-presion/manometro-analogico-a.htm>
- PIROBLOC. (01 de 03 de 2017). *Qué es un P&ID*. Obtenido de PIROBLOC: <https://www.pirobloc.com/blog-es/que-es-un-piping-and-instrumentation-diagram/>
- Polimex, P. d. (2017). *Catalogo de resistencias eléctricas industriales*. Obtenido de Polimex:Productos de calefacción industrial: <http://www.polimex.mx/catalogos/Catalogo-de-Resistencias-Elctricas-Polimex-2017.pdf>
- Quimicafacil.net. (22 de 04 de 2020). *Destilación al vacío*. Obtenido de Quimicafacil.net:
<https://quimicafacil.net/tecnicas-de-laboratorio/tecnica-destilacion-al-vacio/>
- Ramirez, E. (2015). *Destilacion, teoria y tipos*. Obtenido de Alambiques:
<http://www.alambiques.com/destilaciones.htm>
- Rodriguez, A. (2012). *Instrumentos para tableros*. Obtenido de Repositorio UNAC:
https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABL EROS.pdf
- Ruiz, D. (2019). *Montaje y reparación de sistemas eléctricos y electrónicos de bienes de equipo y máquinas industriales*. Ic.
- Shandong Tonsen Equipment Co., L. (2016). *Fermentadores cónicos de acero inoxidable baratos para etanol*. Obtenido de Shandong Tonsen Equipment Co., Ltd: <https://m.spanish.alibaba.com/p-detail/Brew-cheap-stainless-steel-conical-fermenters-60763276851.html?s=p>
- Siemens. (2018). *Manual Logo!* Obtenido de Siemens:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf
- Suarez, L., Suarez, I., & Contreras, R. (2001). **COMPORTAMIENTO DE 3 FAMILIAS DE ACEROS INOXIDABLES ANTE SOLICITUDES TRIBOLÓGICAS DE ABRASIÓN Y EROSIÓN**. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, XXI(2). Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522001000200014
- TLV. (2021). *Compañía especialista en Vapor*. Obtenido de <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/overall-heat-transfer-coefficient.html>

- TP laboratorio químico. (2017). *que es la destilación*. Obtenido de <https://www.tplaboratorioquimico.com/quimica-general/pensamiento-cientifico.html>
- UCAB. (2004). *DESTILACIÓN. DETERMINACIÓN DEL GRADO ALCOHÓLICO DEL VINO*. GUAYANA: UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO . Obtenido de http://guayanaweb.ucab.edu.ve/tl_files/ingenieria_industrial/files/laboratorios/Semana%20N%203pract_03_dest_vino.pdf
- Vidosic, J. (1957). *Machine Design Projects*. New York: The Ronald Press.
- Villacis, J. (2017). *Estudio de viabilidad para la elaboración y comercialización de licor de penco en la ciudad de Guayaquil*. Obtenido de Repositorio Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7992/1/T-UCSG-PRE-ECO-MD-ADM-79.pdf>
- Zaldeuegui, P. (2017). *Destilación*. Obtenido de Repositorio Universidad de Zaragoza: https://ocw.unizar.es/ocw/ciencias-experimentales/tecnicas-basicas-de-laboratorio-quimico/teoria/Destilacion_teoría.pdf

17. ANEXOS

RESISTENCIAS TUBULARES

APLICACIONES TÍPICAS: La resistencia más versátil y ampliamente utilizada en las aplicaciones industriales, comerciales, científicas y militares, tales como calefactores combinados de radiación y convección, introducción en agujeros taladrados o en ranuras fresadas en placas o moldes, fundidos en metales y sujetos a oleoductos. Igualmente para la calefacción de líquidos por inmersión directa.

CARACTERÍSTICAS: El diseño de las resistencias tubulares produce un calefactor robusto y durable inigualable en su resistencia contra el choque, vibraciones, corrosión y altas temperaturas. Pueden ser formadas en una variedad ilimitada de figuras a piezas soldadas con plata o al acero, latón, acero inoxidable o cualquier pieza de metal exótico, así como fundidas en metales. Los materiales estándar del tubo son el cobre, acero inoxidable e Incoloy con varios diámetros y arreglos de tornillos o cables flexibles con sellos, conexiones y bridas.



TAMAÑOS-CAPACIDADES

Diámetro: pulg. 0.260, 0.315, 0.375, 0.430, 0.500, 0.625

LARGO: de 11 a 255 pulg.

TUBO	TEMP. MÁX.	W/pulg.	W/cm.
Cobre	350°F(180°C)	65	10
Acero	750°F(400°C)	20	3
Ac.Inox.	1200°F(650°C)	30	5
Incoloy	1600°F(870°C)	40	6

TENSIONES: 120, 240, 480, 550 V

RESISTENCIAS TUBULAR ALETADA

APLICACIONES TÍPICAS: Utilizadas para ser montadas transversalmente a una corriente de aire dentro de conductores de corriente forzada o para calentar por convección en aplicaciones tales como: calefacción de ambiente, hornos de secado, etc.

CARACTERÍSTICAS: El diseño básico de tubulares aletadas es el mismo que el de tubular con aletas fijas en forro de acero inoxidable, para operar en una temperatura de hasta 500°C. Fabricación de cualquier tamaño y medida de acuerdo a las necesidades.



TAMAÑOS-CAPACIDADES

Diámetro de la aleta:

Redonda: 1 3/8" y 1"

Cuadrada 1" x 2"

Potencia: 60 W/pulg

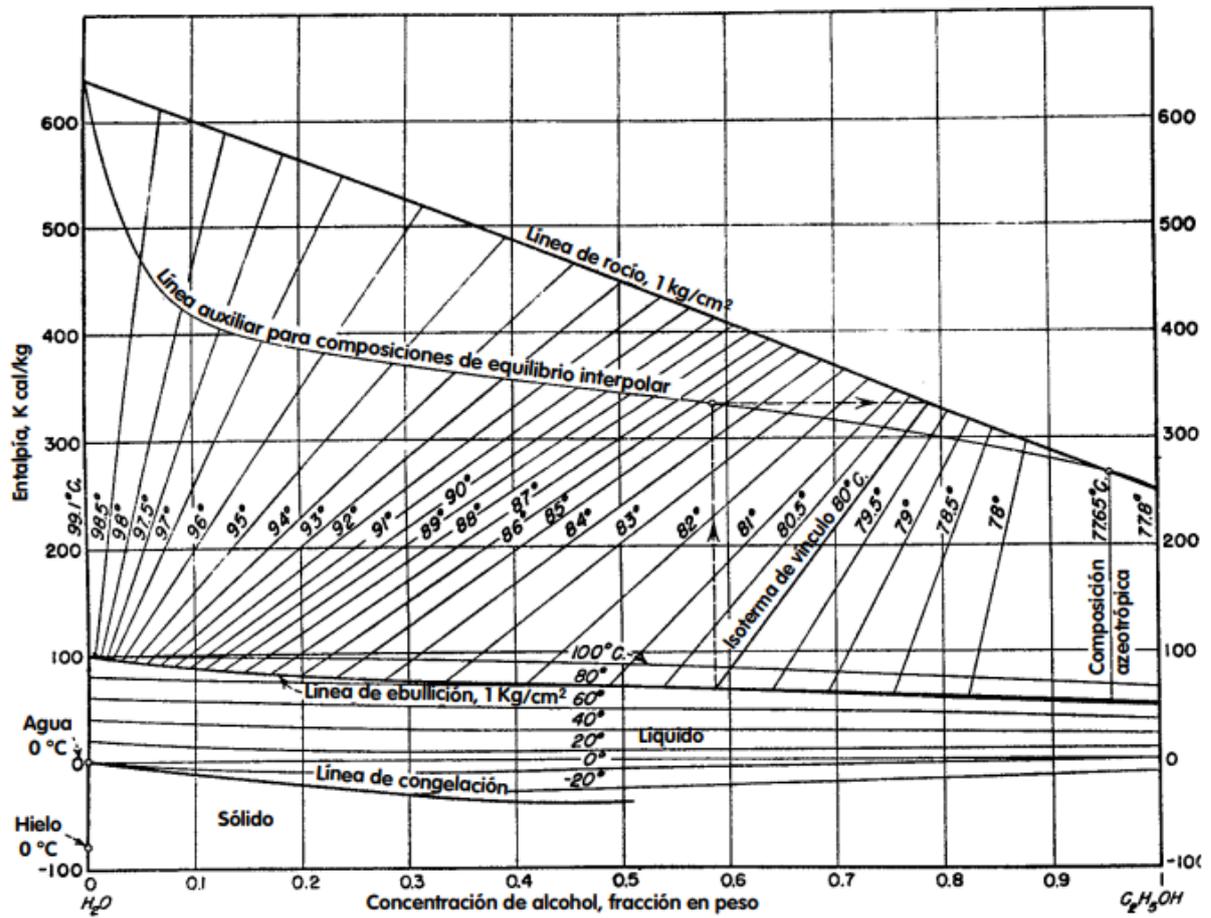
RESISTENCIA TUBULAR FUNDIDA

APLICACIONES TÍPICAS: Utilizadas para las aplicaciones de calefacción y de enfriamiento de superficies cilíndricas, planas o irregulares. Las aplicaciones típicas de calefacción y de enfriamiento son los cilindros en las extrusoras de plásticos. Las aplicaciones de calefacción son las máquinas de procesamiento de plástico, parrillas de cocción de alimentos, equipos de sellado y de estampado en caliente. La resistencia puede ser fundidas alrededor de piezas de componentes de máquinas.

CARACTERÍSTICAS: Las resistencias ahogadas son fundidas en moldes permanentes de acero, produciendo una fundición de densidad uniforme alrededor de la resistencia, brindando bajas densidades de potencias. Transferencia uniforme de calor y alta durabilidad. Los diseños típicos son cilindros, placas planas y formas irregulares. Disponibles con tubos de enfriamiento por aire. Completamente labradas o fundición cruda. Hechas de aleación de aluminio o de bronce.



ANEXO A. Gráfica de entalpías en función del grado de concentración y temperatura del fluido



ANEXO B. Características de la tubería de cobre

Tubería de cobre de temple rígido Tipo "M"

Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Lb/pie kg/m	libras kilogramos	PSI kg/cm ²	PSI kg/cm ²	G. P. M. L. P. M.
1/4"	0.375"	0.325"	0.025"	0.107	2.132	6,133	1,226	
6.35 mm	9.525	8.255	0.635	0.159	0.968	431.15	86.18	
3/8"	0.500"	0.450"	0.025"	0.145	2.903	4,500	900	2.247
9.50 mm	12.700	11.430	0.635	0.216	1.318	316.35	63.27	8.507
1/2"	0.625"	0.569"	0.028"	0.204	4.083	4,032	806	4.064
12.7 mm	15.875	14.453	0.711	0.304	1.854	283.45	56.66	15.382
3/4"	0.875"	0.811"	0.032"	0.328	6.566	3,291	658	10.656
19 mm	22.225	20.599	0.812	0.488	2.981	231.35	46.25	40.333
1"	1.125"	1.055"	0.035"	0.465	9.310	2,800	560	21.970
25 mm	28.575	26.767	0.889	0.693	4.227	196.84	39.36	83.180
1 1/4"	1.375"	1.291"	0.042"	0.683	13.656	2,749	550	39.255
32 mm	34.925	32.791	1.067	1.016	6.200	193.25	38.66	148.580
1 1/2"	1.625"	1.527"	0.049"	0.941	18.821	2,713	542	62.335
38 mm	41.275	38.785	1.245	1.400	8.545	190.72	38.10	235.940
2"	2.125"	2.009"	0.058"	1.461	29.233	2,470	491	131.000
51 mm	53.975	51.029	1.473	2.176	13.272	173.65	34.51	495.860
2 1/2"	2.625"	2.495"	0.065"	2.032	40.647	2,228	445	231.461
64 mm	66.675	63.373	1.651	3.025	18.454	156.62	31.28	876.010
3"	3.125"	2.981"	0.072"	2.683	53.663	2,073	414	375.189
76 mm	79.375	75.718	1.889	3.994	24.363	145.73	29.10	1,420.09
4"	4.125"	3.935"	0.095"	4.665	93.310	2,072	414	799.395
102 mm	104.775	99.949	2.413	6.945	42.363	145.65	29.10	3,025.71

ANEXO C. Propiedades del acero inoxidable

Propiedades del Acero INOX 304	
Densidad	7.93 g/cm³
Punto de fusión	1398-1454 °C
Calor específico (Capacidad calorífica específica)	500 J/(Kg · K) a 20°C
Resistividad eléctrica	0.73 μΩ · m (20°C)
Permeabilidad magnética	1.02 (Aproximado)
Modulo elástico	193 GPa (28 × 10⁶ psi)
Difusividad térmica	3.84 mm²/s
Coefficiente de conductividad termica	16.3 (100 °C) 21.5 (500 °C)
Coefficiente de dilatacion lineal	17.2 (0-100 °C) 17.8 (0-300 °C) 18.4 (0-500 °C)

ANEXO D. Viscosidad del agua dependiendo de la temperatura de trabajo

Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

www.vaxasoftware.com

ANEXO E. Tablas de propiedades del agua

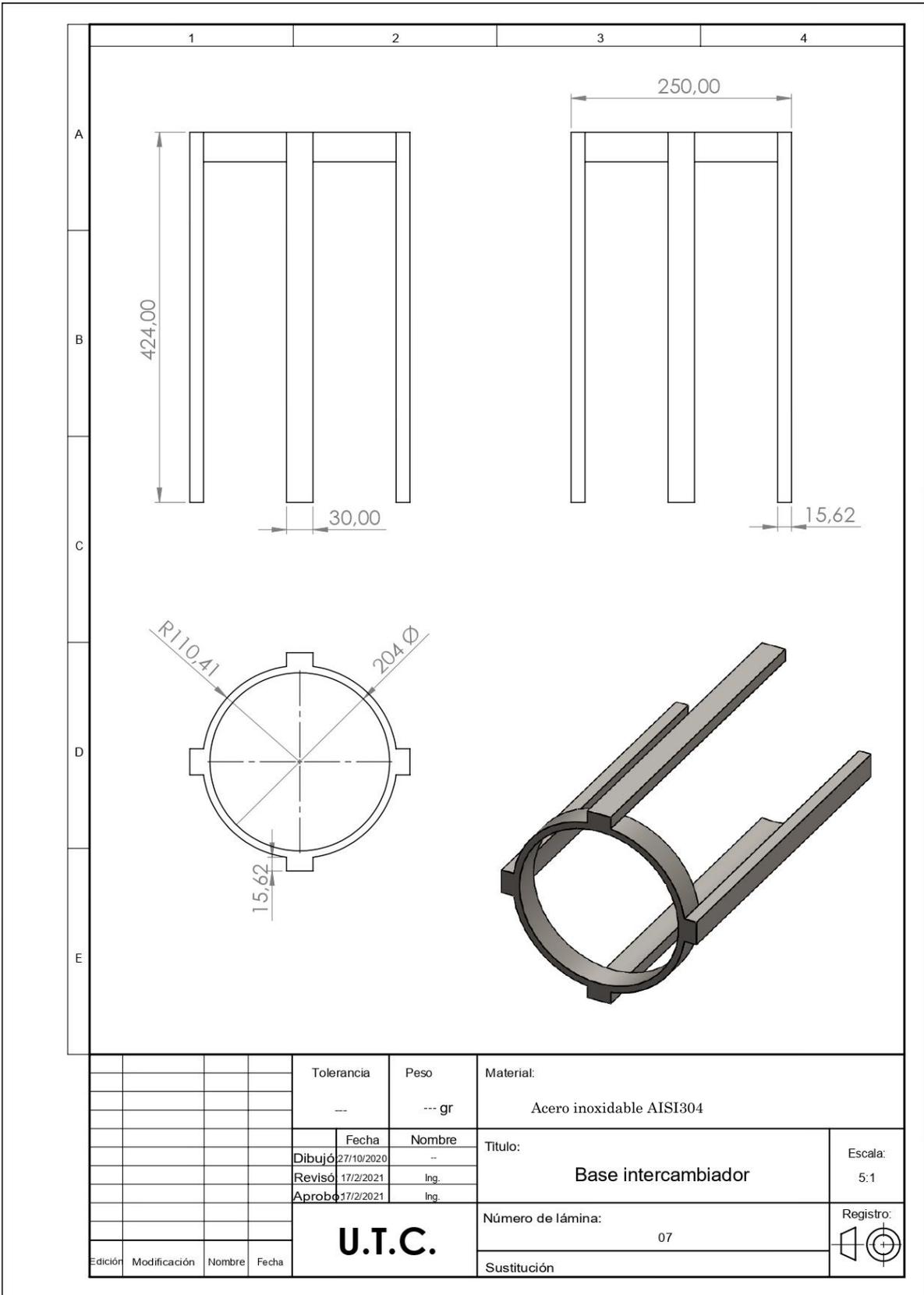
°F	°C	c_p , kJ/kg·°C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m·s	k , W/m·°C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}$, 1/m ³ ·°C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	1.91×10^8
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	6.34×10^8
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	1.08×10^{10}
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.46×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.91×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	2.48×10^{10}
so	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	3.3×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	4.19×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.89×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	5.66×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	6.48×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	7.62×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	8.84×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	9.85×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	1.09×10^{11}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.15230	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.20900	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.25940	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.3470	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906
50	988.1	4.177	547.1	0.5537	643.6	0.1559	0.4572	3.551
55	985.7	4.179	504.2	0.5115	649.3	0.1576	0.4903	3.245
60	983.2	4.182	466.6	0.4746	654.4	0.1592	0.5221	2.981
65	980.6	4.184	433.5	0.4420	659.1	0.1606	0.5528	2.752
70	977.9	4.188	404.1	0.4132	663.2	0.1620	0.5827	2.551
75	975.0	4.191	378.0	0.3877	666.9	0.1632	0.6118	2.375
80	971.9	4.195	354.6	0.3648	670.2	0.1644	0.6402	2.219
85	968.8	4.199	333.6	0.3443	673.0	0.1654	0.6682	2.081
90	965.5	4.204	314.6	0.3259	675.5	0.1664	0.6958	1.958
95	962.1	4.209	297.5	0.3092	677.5	0.1673	0.7230	1.848
100	958.5	4.214	281.9	0.2941	679.3	0.1682	0.7501	1.749

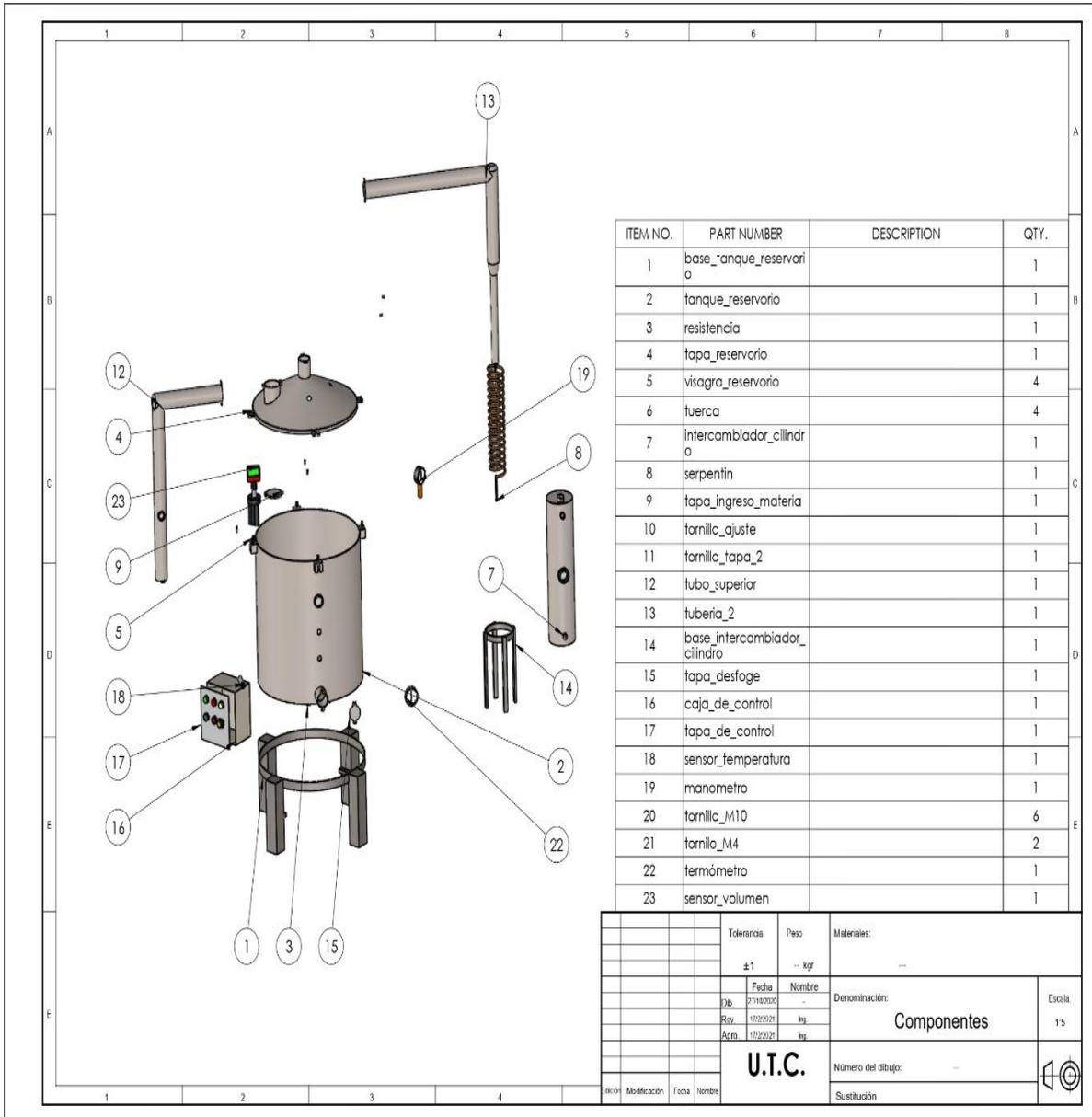
ANEXO F. Propiedades de ebullición y de congelación

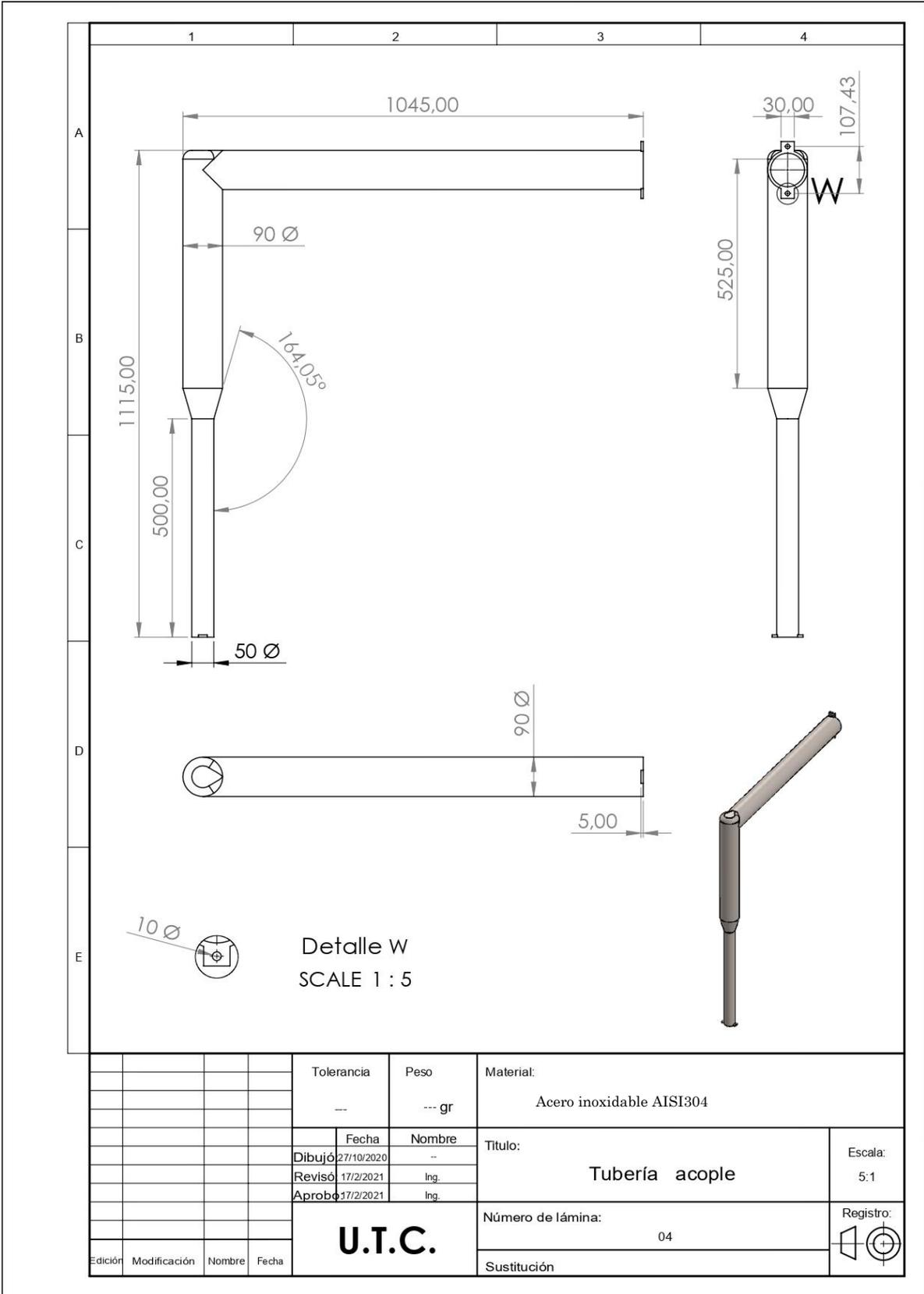
TABLA B-2

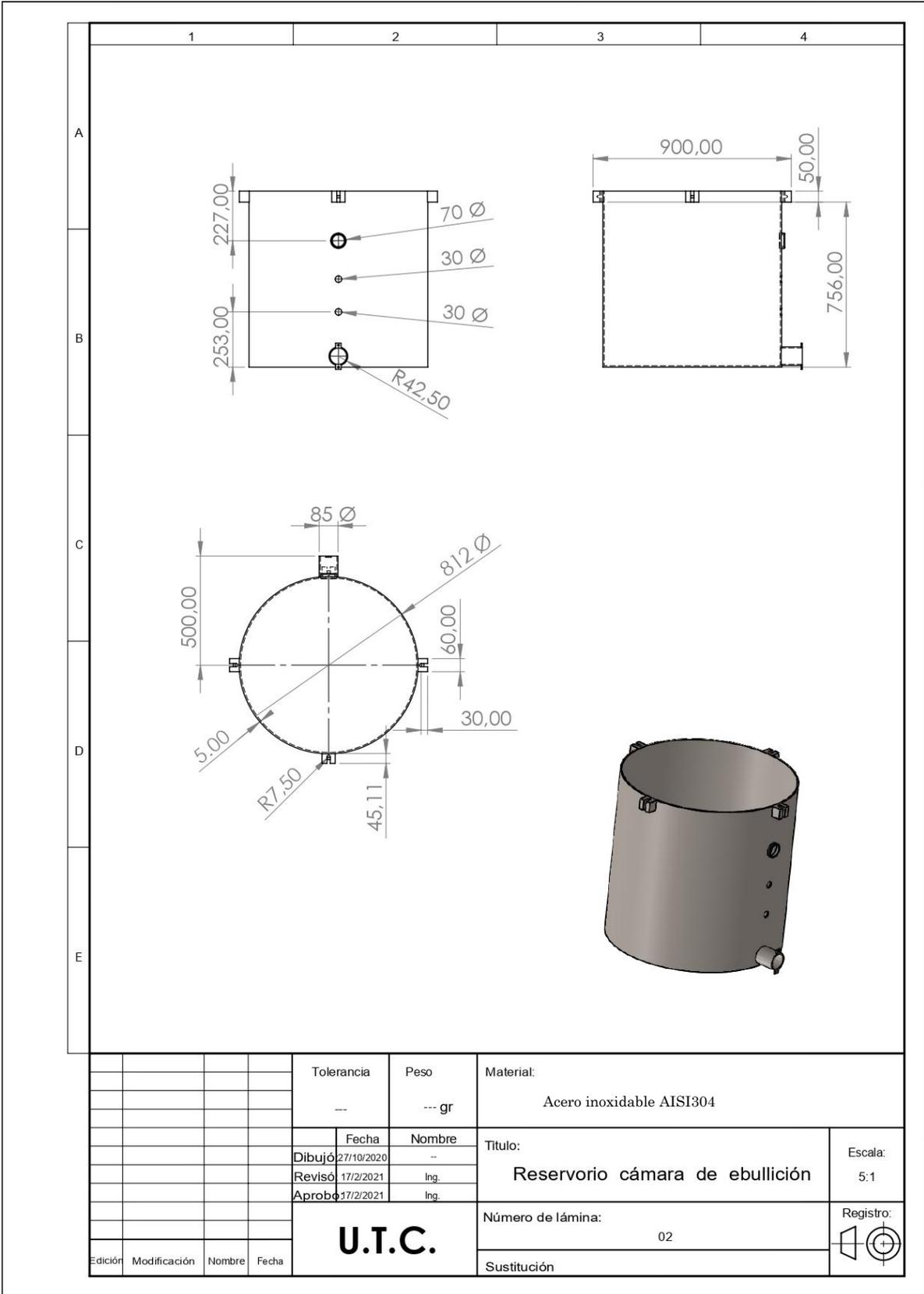
Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquido		
	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico C_p , kJ/kg-K
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.25	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	-	-	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	-	230-384	-	-	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25



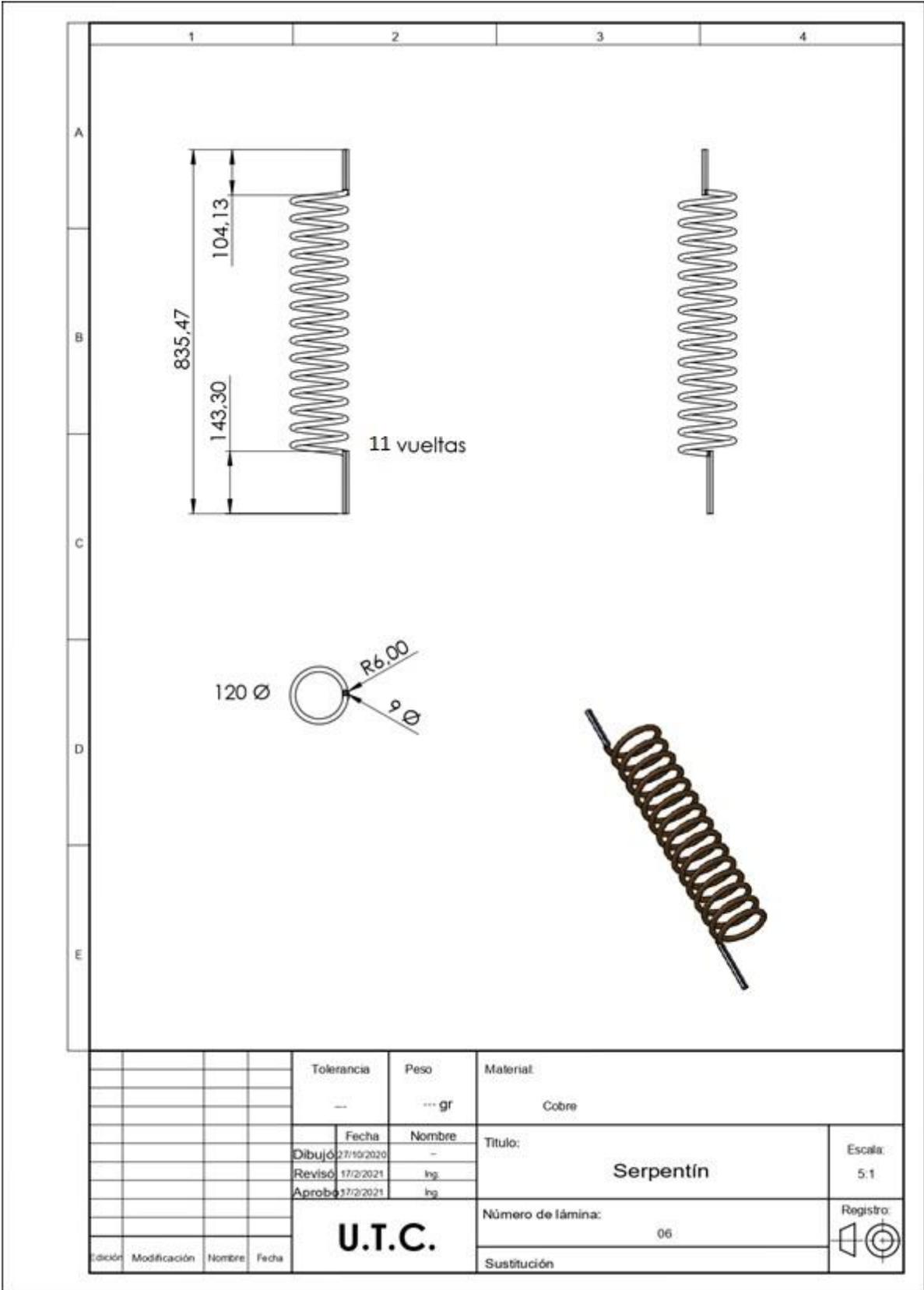
				Tolerancia	Peso	Material:			
				--	--- gr	Acero inoxidable AISI304			
				Fecha	Nombre	Titulo:	Escala:		
				Dibujó 27/10/2020	--			Base intercambiador	5:1
				Revisó 17/2/2021	Ing.				
				Aprobó 17/2/2021	Ing.	Número de lámina:	Registro:		
				U.T.C.		07			
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución			



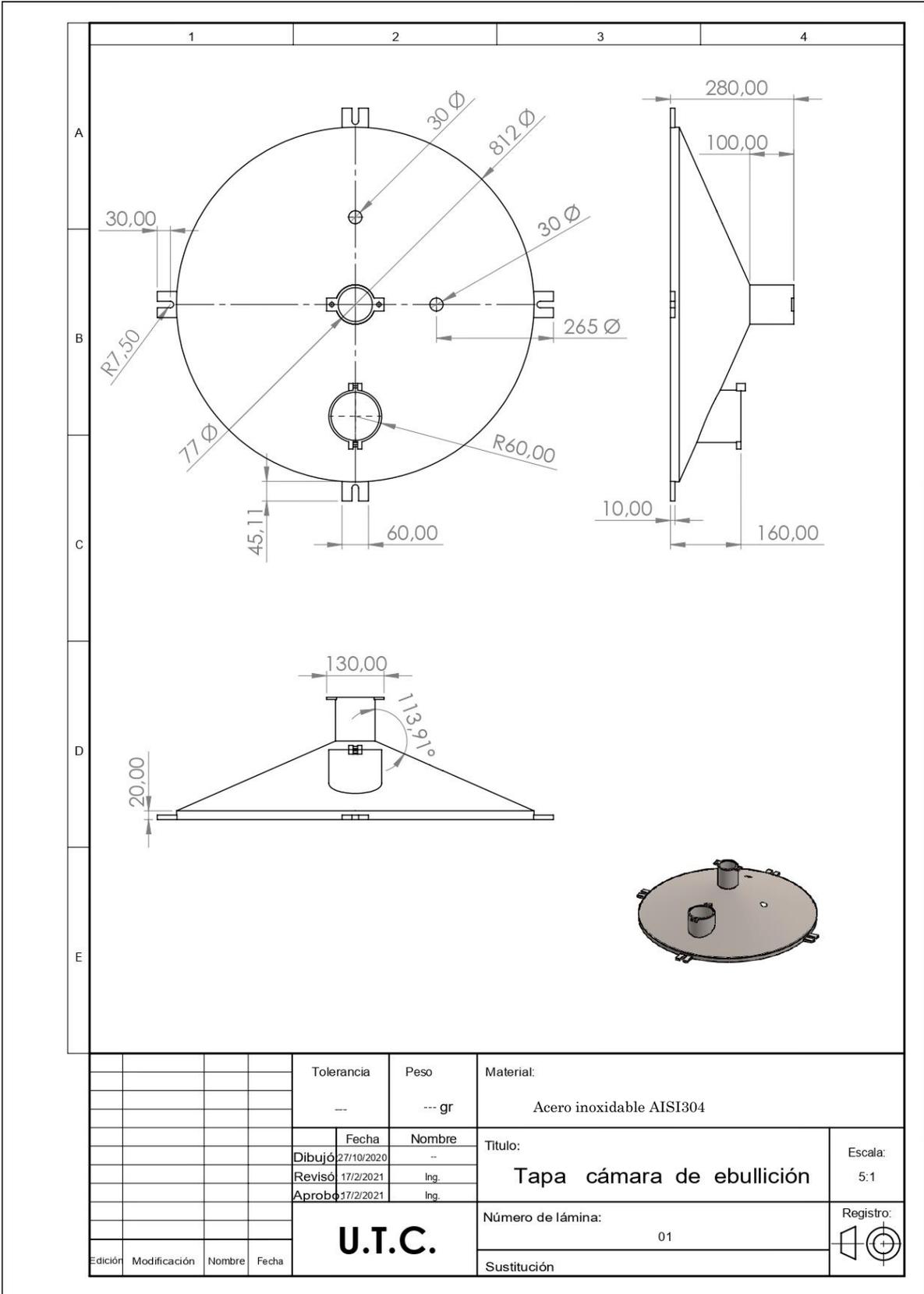


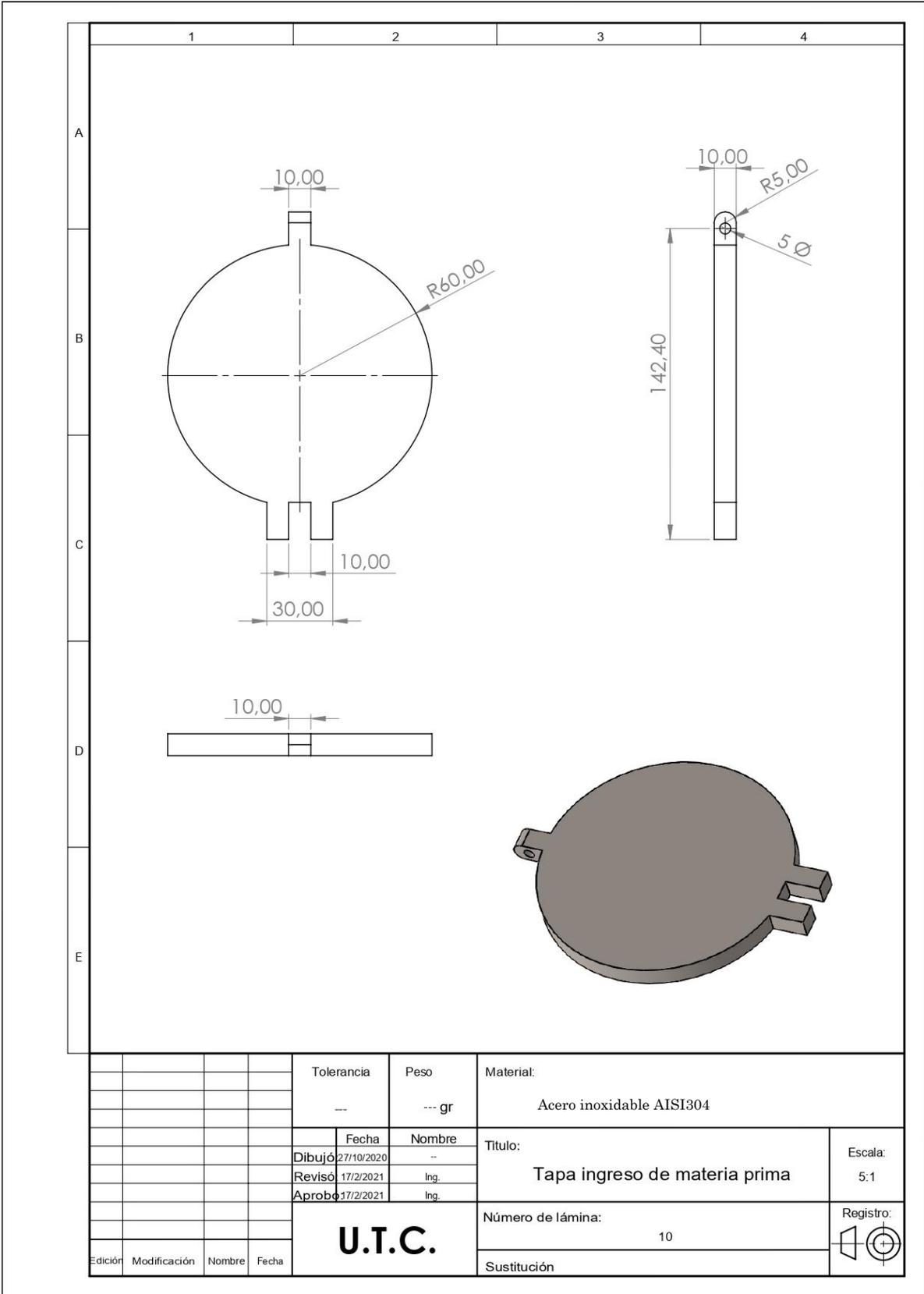


				Tolerancia	Peso	Material:	
				---	--- gr	Acero inoxidable AISI304	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó 27/10/2020	-	Reservorio cámara de ebullición	
				Revisó 17/2/2021	Ing.	Escala:	
				Aprobó 17/2/2021	Ing.	5:1	
				U.T.C.		Número de lámina:	
						02	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				
				Sustitución			

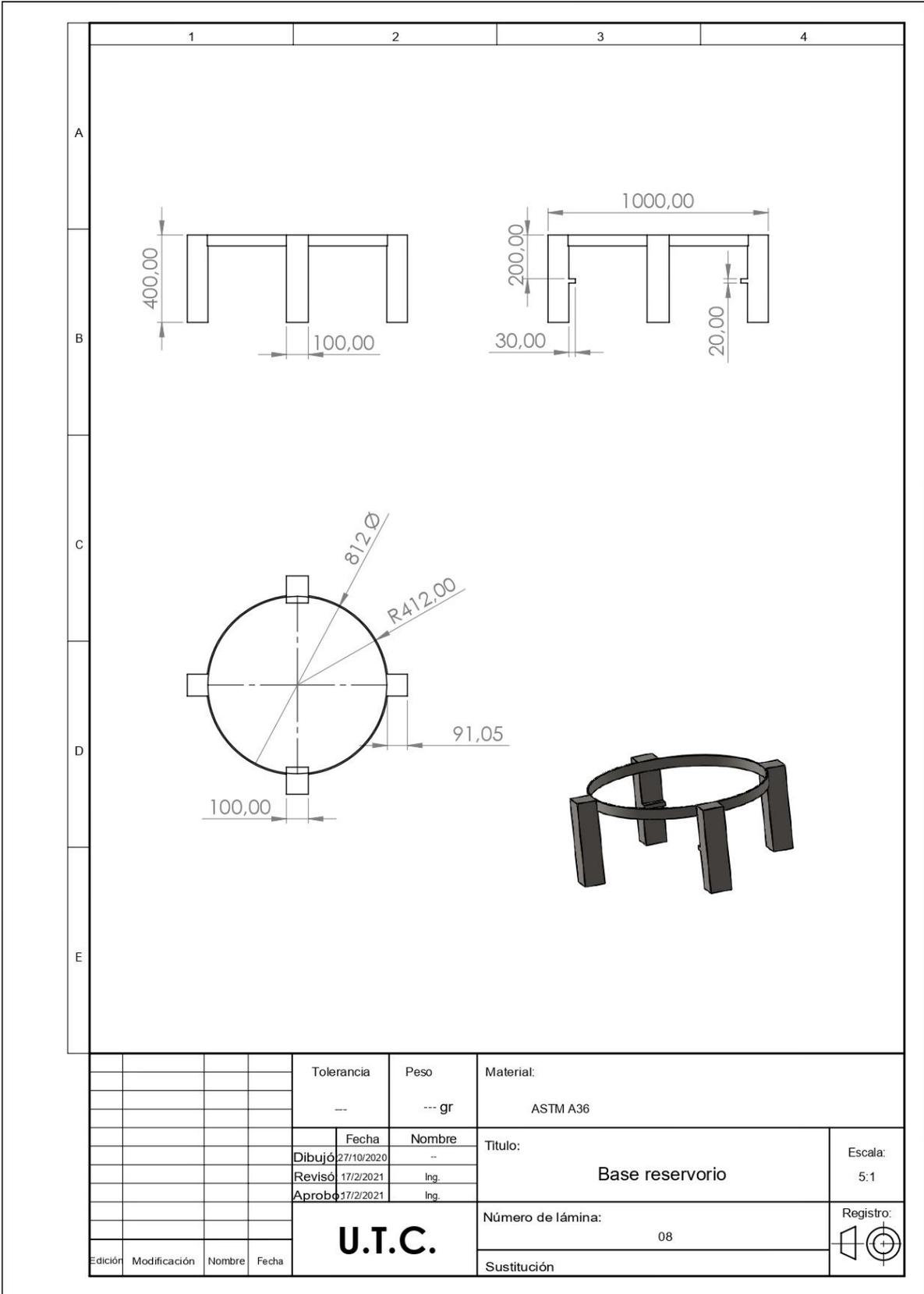


				Tolerancia	Peso	Material:		
				---	--- gr	Cobre		
					Fecha	Nombre	Titulo: Serpentín	
				Dibujó	27/10/2020	-		
				Revisó	17/2/2021	Ing.		
				Aprobó	17/2/2021	Ing.	Escala: 5:1	
				U.T.C.			Número de lámina: 06	Registro:
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				Sustitución	





				Tolerancia	Peso	Material:	
				---	--- gr	Acero inoxidable AISI304	
					Fecha	Nombre	Titulo:
				Dibujó	27/10/2020	--	
				Revisó	17/2/2021	Ing.	
				Aprobó	17/2/2021	Ing.	Escala: 5:1
				U.T.C.			
Edición	Modificación	Nombre	Fecha				10
				Sustitución			



				Tolerancia	Peso	Material:	
				---	--- gr	ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Titulo: Base reservorio
				Dibujó	27/10/2020	--	
				Revisó	17/2/2021	Ing.	
				Aprobó	17/2/2021	Ing.	Escala: 5:1
				U.T.C.		Número de lámina:	Registro:
							08
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

