



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE FERMENTACIÓN INDUSTRIAL
PARA LA EMPRESA “INDUACERO CÍA. LTDA.”

AUTOR: Adrian Israel Guanín Araque

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

AMBATO – ECUADOR

Marzo – 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE FERMENTACIÓN INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA INDUACERO CÍA. LTDA.**”, elaborado por el señor Adrian Israel Guanín Araque, portador de la cédula de ciudadanía: C.C. 0503574055, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Adrian Israel Guanín Araque con C.C. 0503574055 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE FERMENTACIÓN INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA “INDUACERO CÍA. LTDA.”**, así como también el análisis de transferencia de calor, programación, conclusiones y recomendaciones es de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Adrian Israel Guanín Araque

C.I. 0503574055

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



Adrian Israel Guanín Araque

C.I. 0503574055

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Adrian Israel Guanín Araque de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE FERMENTACIÓN INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA “INDUACERO CÍA. LTDA.”.**

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. José Luis Yunapanta Velastegui

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

MIEMBRO CALIFICADOR

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES	ii
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
B. CONTENIDOS.....	1
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
Cerveza	3
Elaboración Casera de Cerveza	4
Elaboración artesanal de Cerveza	5
Levadura	7
Fermentación	8
Proceso de Fermentación	8
Partes del Fermentador	11
Transferencia de Calor.....	11
Conducción.....	12
Convección	12
Temperatura.....	13
Temperatura en la producción de cerveza	13
Volumen.....	14

Acero Inoxidable.....	15
Tanque de Fermentación.....	16
Chaquetas.....	17
Tanque enchaquetado con agitador.....	18
Sistemas de Control	19
PLC	19
Arduino	20
Variador de velocidad.....	21
Sensor de temperatura.....	21
Sensor de Presión.....	22
Sensores de nivel	23
Bomba centrífuga de agua	23
Electroválvula	24
Normas ASME.....	25
1.2. Objetivos.....	27
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	28
2.1. Materiales	28
Diagrama general del proceso de diseño	30
Diagrama de ensamble.....	31
2.2. Métodos	33
Propiedades del mosto de malta de cebada.....	33
Selección de alternativas.....	33
Cálculo de espesores de pared	36
Cálculo de la tapa del fermentador	36
Dimensionamiento del tanque	36
Cálculo diámetro tubos y ferrules de acero inoxidable.....	37
Dimensionamiento de los soportes	37

Cálculo de la transferencia de calor.....	37
Sistema de control.....	38
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.1. Análisis y discusión de los resultados	41
3.1.1. Parámetros de Diseño.....	41
3.1.2. Selección de alternativas	44
3.1.3. Diseño Mecánico.....	45
a. Cálculo y dimensionamiento del recipiente	45
b. Diseño de la chaqueta de hoyuelos.....	63
c. Dimensionamiento de los soportes.....	64
3.1.4. Análisis de la corrosión galvánica en la soldadura	65
3.1.5. Transferencia de calor	66
3.1.6. Sistema de control del fermentador.....	75
3.1.7. Recomendaciones de operación y mantenimiento	77
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
4.1. Conclusiones.....	80
4.2. Recomendaciones	81
C. MATERIALES DE REFERENCIA	82
Referencias Bibliográficas.....	82
Anexos.....	87
Anexo A. Valores de tensión máxima permisible para materiales ferrosos	87
Anexo B. Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica	90
Anexo C. Programación del sistema de control utilizando lenguaje Ladder en Cx-programmer.....	91
Anexo D. Índice de términos	95
Anexo E. Planos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cervezas caseras obtenidas mediante el uso de diversas maltas.....	5
Figura 2: Planta piloto para la elaboración de cerveza	6
Figura 3: Proceso de producción de Cerveza.....	6
Figura 4: Levadura <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> utilizada en la cerveza	7
Figura 5: Componentes y resultado de la fermentación	8
Figura 6: Exclusa de aire “Air Lock” utilizada en fermentadores de acero	10
Figura 7: Refractómetro usado en fabricación de cerveza y vino.....	10
Figura 8: Transferencia de calor por convección.....	12
Figura 9: Elementos de cocina fabricados con acero inoxidable.....	15
Figura 10: Tanques Fermentadores marca Micet Craft	16
Figura 11: Tanques con chaquetas en forma de hoyuelos	17
Figura 12: Modelo de un tanque enchaquetado de 400 litros con agitador	18
Figura 13: PLC de la marca Siemens.....	20
Figura 14: Placa Arduino.....	20
Figura 15: Variador de velocidad	21
Figura 16: Diferentes tipos de sensores de temperatura	22
Figura 17: Diversos tipos de sensores de presión.....	22
Figura 18: Sensores de nivel de tipo continuo.....	23
Figura 19: Funcionamiento de una bomba centrífuga	24
Figura 20: Ejemplo de electroválvula de marca Burkert	24
Figura 21: Organización de normas y certificación.....	26
Figura 22: Margen de corrosión según la vida útil del material	48
Figura 23: Gráfica para determinar el diámetro óptimo del recipiente.....	49
Figura 24: Tapa tipo torisférica (ASME VIII 1, Apéndice Obligatorio 1).....	51
Figura 25: Tabla para determinar el espesor de componentes bajo presión externa	53
Figura 26: Tabla para determinar el espesor de corazas bajo presión externa	56
Figura 27: Tabla para determinar el espesor de componentes bajo presión externa	57
Figura 28: Geometría del cono del fermentador.....	59
Figura 29: Sección cónica a presión externa (ASME VIII 1).....	59

Figura 30: Espesor según el factor A y B en componentes bajo presión externa.....	61
Figura 31: Esquema de una sección del fermentador	66
Figura 32: Condiciones internas del tanque desde una vista superior	67
Figura 33: Disposición y datos del sistema	71
Figura 34: Esquema general de resistencias térmicas en el sistema	71
Figura 35: Esquema de resistencias despreciando el aislamiento.....	72
Figura 36: Esquema de resistencias con aislamiento.....	72
Figura 37: Esquema de resistencias entre el mosto y el agua.....	73
Figura 38: Sumatoria de calores	74
Figura 39: Comportamiento del flujo de calor en el sistema mosto - agua – aire	74
Figura 40: Programación escalera en Cx-Programmer.....	75
Figura 41: Pantalla de información e ingreso de temperaturas.....	76
Figura 42: Pantalla del funcionamiento del sistema de control	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Partes de un fermentador	11
Tabla 2: Resumen de elementos y materiales	29
Tabla 3: Propiedades del mosto	33
Tabla 4: Criterios de selección con su respectiva ponderación	34
Tabla 5: Alternativas a considerar en elección del fermentador.....	35
Tabla 6: Volumen de CO ₂ durante la fermentación a diferentes temperaturas.....	42
Tabla 7: Tabla resumen de propiedades Físicoquímicas del mosto de cebada.....	42
Tabla 8: Propiedades físicoquímicas del agua	43
Tabla 9: Tabla de propiedades de la espuma de poliuretano	43
Tabla 10: Propiedades del acero ASTM A36 y el acero inoxidable AISI 304.....	43
Tabla 11: Ponderación de factores para selección de fermentador.....	44
Tabla 12: Datos de extrapolación.....	50
Tabla 13: Dimensiones del cono del fermentador	59
Tabla 14: Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección	68

RESUMEN

El presente proyecto fue solicitado por la empresa “Induacero Cía. Ltda.” debido a que tienen la necesidad de construir tanques fermentadores de acero inoxidable con sistema de enfriamiento para la industria de cerveza. Debido a que en el mercado no existen soluciones para las microempresas que necesiten un sistema más sofisticado para fermentar pequeños lotes.

En el presente proyecto se efectuó el diseño del tanque fermentador y se inició calculando las medidas internas, luego se utilizó la normativa ASME sección VIII División 1 para calcular las presiones a la que estará sometido el tanque y los espesores necesarios para soportar estas presiones. Después se realizó el análisis de transferencia de calor del sistema de enfriamiento del tanque. Finalizando con el diseño se realizó el algoritmo del sistema de control y en base a esto la programación en lenguaje escalera para que el código pueda ser introducido en un PLC, después se realizó el diseño de la interfaz gráfica que se mostrará al usuario para que pueda manipular el programa.

Al culminar el diseño el prototipo será entregado a Induacero Cía. Ltda. para que lo elabore en beneficio de la empresa.

Palabras clave: Diseño, Tanque fermentador, Código ASME, Sistema de enfriamiento, Sistema de control, Programación Ladder, PLC.

ABSTRACT

This project was requested by the company "Induacero Cía. Ltd." because they have the need to build stainless steel fermenter tanks with a cooling system for the beer industry. Because there are no solutions on the market for micro-enterprises that need a more sophisticated system to ferment small batches.

In the present project, the design of the fermenter tank was carried out and it began by calculating the internal measurements, then the ASME section VIII Division 1 regulations were used to calculate the pressures to which the tank will be subjected and the thicknesses necessary to withstand these pressures. Then the heat transfer analysis of the tank cooling system was carried out. Finishing with the design, the algorithm of the control system was made and based on this, the programming in ladder language so that the code can be entered into a PLC, then the design of the graphical interface that will be shown to the user so that he can manipulate the program.

Upon completion of the design, the prototype will be delivered to Induacero Cía. Ltda. to prepare it for the benefit of the company.

Keywords: Design, Fermentation tank, ASME Code, Cooling system, Control system, Ladder Programming, PLC.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Se llevó a cabo una investigación en varios repositorios digitales con el fin de conocer trabajos previos en donde se realicen diseños similares al trabajo requerido por la empresa, encontrando los siguientes resultados:

García J. M., diseñó un tanque agitador que permita homogeneizar la mezcla de chocolate de manera que la transferencia de calor sea la adecuada en cada uno de los extremos del tanque para evitar que existan partes donde la mezcla esté más espesa que en otros y por tal motivo el chocolate se deteriore, para esto se debe considerar el material de construcción del tanque, del agitador y de todos los elementos que estén en contacto con la mezcla, además de realizar los cálculos para determinar las fuerzas a las que se verá sometido por acción del giro del motor obteniendo un proceso lo más eficiente posible [1].

Landivar T. E., diseñó un sistema de control automático con sistema SCADA para ejecutar la recirculación de agua en calderos en donde se va a efectuar el proceso de calentamiento y enfriamiento, de manera que se pueda mantener el agua a una temperatura previamente establecida para que pueda ser usada en el sector hotelero, para este fin se utilizó sensores de nivel, sensores de temperatura y electroválvulas que son necesarios para llenar los tanques de agua hasta y alcanzar el nivel requerido. Se utilizó en el sistema una placa Arduino, varios sensores electrónicos, bombas centrífugas y como software se empleó LabVIEW 2012 para la programación del Arduino y la simulación del sistema [2].

Suárez C., Garrido A., y Guevara C., realizaron un estudio que permita dar a conocer las características de la levadura de tipo *Saccharomyces Cerevisiae*, el cuál es el más usado en la elaboración de cerveza artesanal de tipo Ale por ser una levadura que realiza su proceso de fermentación a temperatura cercana a la ambiente, en cuanto a la importancia de este artículo con la investigación del diseño del fermentador se encuentran los factores que se deben de tener en cuenta para el crecimiento y

desarrollo de la levadura donde se indica que la presión osmótica es importante para evitar que la levadura se encuentre en un medio que no le permita desarrollarse normalmente lo que afecta a la velocidad de fermentación, también se debe de tomar en cuenta la temperatura debido a que ante altas temperaturas la membrana celular se torna rígida lo que lleva a la muerte de la levadura, mientras que a bajas temperaturas se detiene su desarrollo y la aletarga [3].

Garduño A., simuló el proceso de fermentación que ocurre al realizar cerveza artesanal, por este motivo se tomó entre las variables a la glucosa, la maltosa y la maltotriosa para realizar la simulación en el programa Matlab-Simulink, simultáneamente se realizó una producción de cerveza artesanal a 21°C constantes con 14 fermentadores midiendo las variables usadas en la simulación para de esta manera poder calibrar los algoritmos óptimos para ajustar las predicciones entre el modelo y las mediciones de la producción [4].

Bricio E., efectuó un estudio en el que se cargó un reactor con cereales y levadura para que se produzca la fermentación. Mientras ocurría este proceso se manipuló un líquido refrigerante para que se pueda controlar la temperatura preestablecida en el fermentador, de manera que se disminuya el tiempo de fermentación optimizando la conversión de azúcares en etanol mientras se conservan las propiedades organolépticas en la cerveza [5].

1.1.1. Justificación

El presente proyecto fue solicitado por la empresa “Induacero Cía. Ltda.” [6] debido a que tienen la necesidad de construir tanques fermentadores de acero inoxidable con chaquetas para la industria de cerveza manufacturando un sistema industrial a pequeña escala, incluyendo a su vez un sistema de control de temperatura que permita mantener un rango ingresado por el usuario y mediante la recirculación de agua evite que el contenido se degrade al someterse a temperatura ambiente. La finalidad de este proyecto es aumentar la oferta de la empresa hacia los pequeños productores de cerveza y ser más competitivos en el mercado local y nacional, especialmente centrándose en las microempresas que

necesiten un sistema más sofisticado al momento de fermentar la cerveza en pequeñas cantidades.

En el mercado existen tanques fermentadores de capacidades industriales que van desde los 500 hasta 20000 litros, utilizados por empresas que tienen una gran demanda a nivel local y nacional, sin embargo, las microempresas o los pequeños productores que apenas están empezando no pueden alcanzar estos niveles de producción, por lo que se necesitan tanques fermentadores que tengan una capacidad limitada de alrededor de unos 100 litros. Existe la posibilidad de realizar este proceso de manera más artesanal pero fácilmente se puede llegar a degradar el producto [7].

Por estas razones la empresa necesita el diseño de un tanque fermentador que pueda cumplir con las necesidades antes indicadas que a su vez integre un sistema de control utilizando por ejemplo un PLC o un Arduino de manera que se permita ingresar los rangos de temperatura a los que se debe de mantener el tanque y que sea regulado de manera automática.

1.1.2. Fundamentación Teórica

Cerveza

En términos de popularidad es considerada la tercera bebida más consumida y aunque no se conoce con exactitud la fecha y lugar en donde se empezó a elaborar, se le considera una de las bebidas alcohólicas más antiguas. Se solía realizar de diferentes maneras hasta que se puso en vigencia en Alemania la ley de Pureza. Esta ley, conocida como la deutschen Reinheitsgebot; fue promulgada en abril de 1516 por el duque Guillermo IV de Baviera para estandarizar el uso de los ingredientes con los que se producían cerveza, limitándolos a solo la utilización de agua (preferentemente de manantial), la cebada (cambiada después por la cebada malteada), y el lúpulo (por sus propiedades antibacterianas). Esta ley se fue extendiendo paulatinamente por el resto del país hasta que se aplicó en

toda Alemania en el año 1906. Finalmente fue abolida en 1986 para ser sustituida por las regulaciones de la unión europea.

En la Edad Media los alimentos se deterioraban con facilidad ante la falta de métodos de conservación, la cerveza solía deteriorarse de igual manera. No se solía utilizar lúpulo generalmente debido al desconocimiento de sus propiedades aromatizantes y conservantes. En cambio, se utilizaban una mezcla de hierbas, hongos e incluso restos de animales para dar un sabor que oculte el mal estado de la cerveza. Por este motivo y al considerarse a la cerveza un alimento de primera necesidad se dictó esta ley para poder estandarizar los ingredientes utilizados en su elaboración de manera que se pueda controlar de cierta manera su calidad, aunque el dictamen de esta ley también llevaba otras intenciones debido a que Guillermo IV de Baviera tenía el monopolio de la cebada y al eliminar otros tipos de competencia se podía especular y controlar los precios de este cereal. Además, la iglesia controlaba la producción y la venta del lúpulo, de tal forma que también se beneficiaba con esta ley fomentando la armonía entre la nobleza y la santa institución.

Actualmente solo cerveceros tradicionales siguen esta ley considerando que existe una amplia variedad de maltas y lúpulos con lo que se puede obtener una amplia variedad de cervezas [8].

Elaboración Casera de Cerveza

La elaboración de cerveza se ha convertido en los últimos años en una afición que es efectuado por muchas personas debido a que con unos sencillos pasos se puede llegar a elaborar una cerveza casera. Existen paquetes comercializados en el mercado que tienen todos los ingredientes y utensilios necesarios para su elaboración.

El procedimiento consiste en moler la cebada previamente malteada, llevar a macerar con el agua a una temperatura de 80 °C por una hora, cernir la mezcla y llevar a hervir para eliminar cualquier microorganismo presente y añadir el lúpulo, enfriar lo más rápidamente posible para proceder a añadir la levadura, para finalmente dejar fermentar y embotellar.

Es un proceso sencillo, pero puede ocurrir una gran cantidad de errores que podrían llevar a que se contamine la cerveza y se eche a perder, además no se puede tener un control de calidad óptimo en los procesos y la cerveza resultante suele contener sabores fuertes y un contenido de dióxido de carbono bajo, pero puede forzarse la carbonatación con ayuda de una pequeña cantidad de azúcar y dejar la cerveza embotellada un par de semanas, aun así es un proceso apasionante que necesita una gran cantidad de paciencia [9].



Figura 1: Cervezas caseras obtenidas mediante el uso de diversas maltas

Fuente: [9]

Elaboración artesanal de Cerveza

A diferencia de la elaboración de cerveza casera, en la elaboración artesanal se utiliza equipos más sofisticados y se realiza producciones más grandes. Cabe recalcar que es un proceso similar, pero se realizan en tanques de acero inoxidable y una o más bombas son necesarias además de mangueras alimentarias interconectadas para poder cerrar el sistema.

Al final del proceso es necesario un tanque fermentador el cual debe de tener un sistema de cerrado hermético y varias aberturas por donde conectar las tuberías para controlar las propiedades de la cerveza y para el desfogue de esta. Suelen presentar un cono en la parte inferior en donde se decantan los sedimentos, en especial las levaduras.



Figura 2: Planta piloto para la elaboración de cerveza

Fuente: [10]

Finalizado este proceso se saca la cerveza del fermentador hacia barriles de acero inoxidable o de madera y se inicia con el proceso de maduración en donde se acentúan los matices de la cerveza. Dependiendo del tipo de cerveza y el tipo de producto que se desea obtener este proceso puede durar entre dos semanas y 6 meses, aunque existen cervezas que necesitan un tiempo de maduración mayor. En este proceso además se irá produciendo una mayor cantidad de dióxido de carbono, pero si no es suficiente se puede proceder a la carbonatación forzada antes del embotellamiento [10].

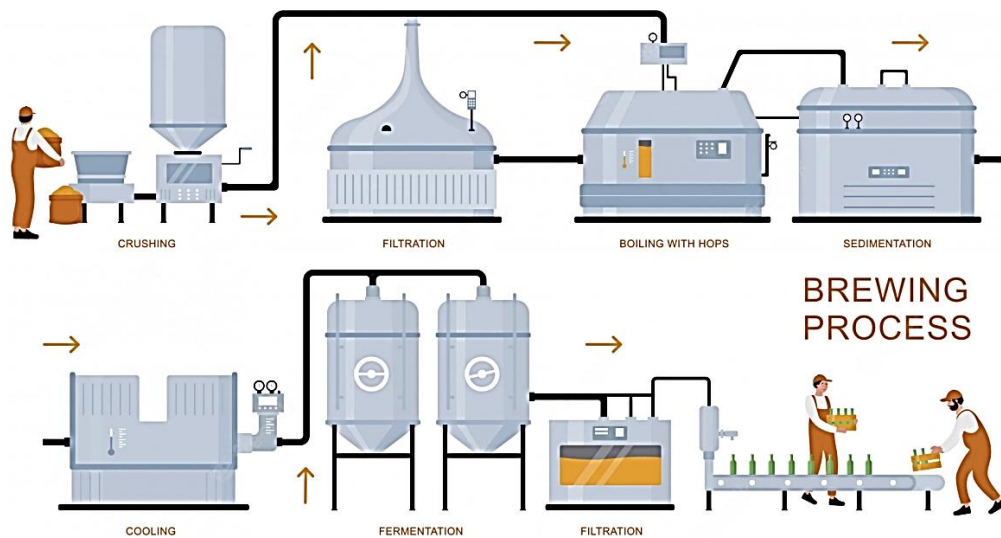


Figura 3: Proceso de producción de Cerveza

Fuente: [10]

Levadura



Figura 4: Levadura *Saccharomyces Cerevisiae* utilizada en la cerveza

Fuente: [11]

La levadura es un tipo de hongo unicelular muy abundante en la naturaleza que puede ser observado solo a través de un microscopio, su función principal descomponer la materia muerta del medio en que se encuentre alimentándose de azúcares para obtener energía en un proceso que es conocido como fermentación. Existen levaduras de distintos tipos y son utilizados en varias industrias de acuerdo con lo que se necesite, se usa principalmente en la elaboración de pan, vino, cerveza, antibióticos, entre otros.

Durante gran parte de la historia se utilizaba en la elaboración de pan y cerveza de forma empírica sin conocer de su existencia hasta que Luis Pasteur en 1856 demostró que estos agentes biológicos existían y eran los responsables de la fermentación en condiciones anaeróbicas.

La manera en que trabajan es muy sencilla, básicamente se alimentan del azúcar que se encuentra ya sea en la harina, en el mosto o en cualquier otro medio que pueda proveerles de alimento, y los descomponen en etanol y dióxido de carbono. En la elaboración de cerveza se coloca en el mosto luego del proceso de hervido, previamente enfriado para evitar que se muera debido a que sobrevive en una temperatura de entre 10 y 20 °C; luego dependiendo del tipo de malta empleado se deja en un recipiente para que se realice la fermentación [11].

Fermentación

Es el proceso en el que la levadura que se coloca en el mosto se alimenta de todos los azúcares de los que dispone y los transforma en etanol y dióxido de carbono, cabe recalcar que dependiendo de la especie de levadura que se coloca se va a generar un tipo de cerveza muy diferente, pudiendo dar como resultado cerveza lager o de baja fermentación las cuales necesitan una temperatura de 5 a 10 °C, también existen las cervezas Ale que son de alta fermentación y necesitan de una temperatura de entre 17 y 25 °C para realizar la fermentación. Se suele utilizar un tipo de fermentación discontinuo (en batch).

Antes de comenzar con la fermentación se debe de tener en cuenta que esta debe de realizarse en un recipiente inocuo para evitar que se contamine el fermentador y se produzca la proliferación de otros hongos o bacterias, solventado esto el proceso de fermentado comienza con las levaduras iniciales que se encargaran de reproducirse en este mosto con ayuda del oxígeno presente en el fermentador, para después empezar a alimentarse de todos los azúcares que tenga a disposición. En el caso de cervezas de tipo Ale se recomienda un tiempo de fermentación de 7 días, mientras que las de tipo lager pueden tomar entre 1 a 3 meses en completar su fermentación [12].

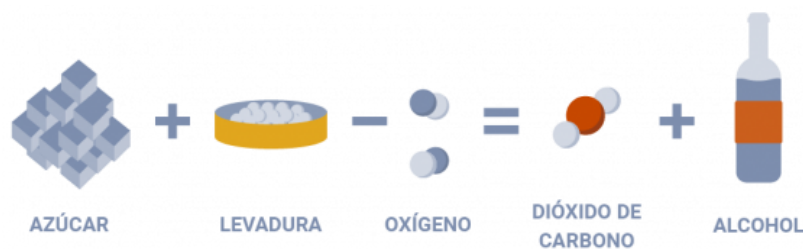


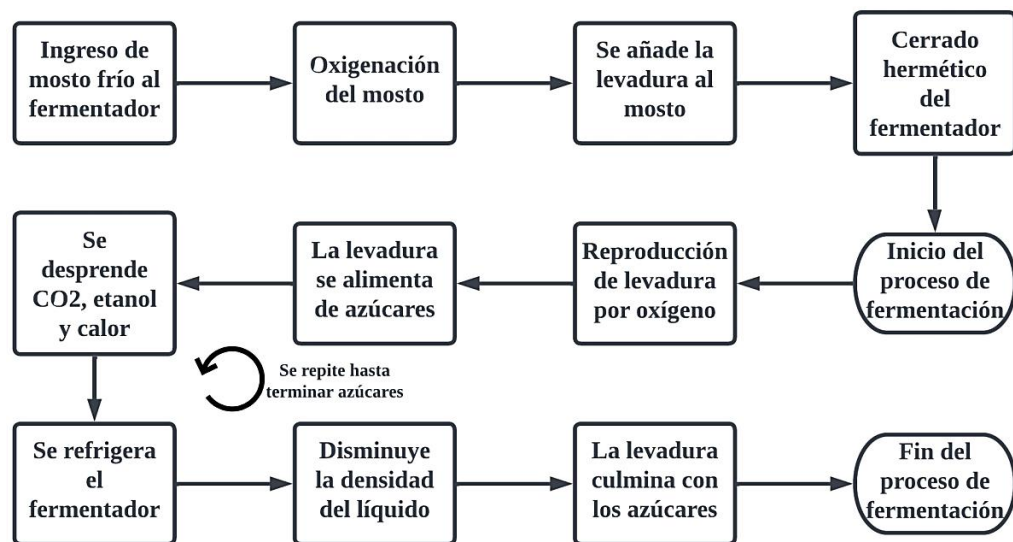
Figura 5: Componentes y resultado de la fermentación

Fuente: [12]

Proceso de Fermentación

El proceso de fermentación inicia con el depósito en el fermentador del mosto frío con un rango ideal de entre 15 y 20 °C de temperatura para poder inocular las cepas de levadura sin que estas sufran daños, luego se debe de cerrar el fermentador para evitar que microorganismos extraños contaminen la cerveza. Lo

ideal es colocar el mosto de manera agitada para que se llene de oxígeno debido a que las levaduras iniciales que son las que nosotros colocamos no son las que van a convertir los azúcares en etanol, sino más bien procederán a reproducirse en un ambiente adecuado con la temperatura que ronde los 20 °C en el caso de las cervezas Ales y de unos 7 °C si se trata de cervezas Lager. Las levaduras consumirán el oxígeno presente en el mosto y en este momento las nuevas generaciones de levaduras son las que empezaran a realizar la fermentación consumiendo todos los azúcares disponibles en el mosto convirtiéndolos en dióxido de carbono y alcohol hasta que finalmente ya no tengan más alimento por consumir. En el caso de las cervezas Ale el proceso de fermentación dura alrededor de unos 7 días, mientras que las cervezas Lager se demoran en fermentar entre 1 a 3 meses.



Para poder controlar el tiempo exacto en el que culmine la fermentación podemos recurrir a diversos métodos, el procero es visual y consiste en observar la exclusa de aire o “Air Lock” el cual es un dispositivo que permite la salida del dióxido de carbono excedente pero no permite la entrada de oxígeno. Este dispositivo se llena de agua hasta el nivel requerido y lo que sucede es que al salir el dióxido de carbono va a burbujear de manera notable en las primeras etapas de fermentación, mientras que al estar próxima a finalizar ya no saldrán burbujas o al menos será inapreciable. Si luego de uno o dos días ya no existe actividad en la exclusa de aire se puede dar por finalizado el proceso de fermentación y se puede retirar la cerveza del fermentador para colocarla en barriles.



Figura 6: Exclusa de aire “Air Lock” utilizada en fermentadores de acero

Fuente: [10]

La otra manera de comprobar si culminó el proceso de fermentación es mediante la medición de la densidad la cual se puede realizar con ayuda de un refractómetro el cual es un instrumento que mide la velocidad de propagación de la luz en un medio lo que se relaciona con el nivel de densidad que posee. Suelen poseer unidades en grados Brix o en gravedad específica la cual es la relación de la densidad de un material con el agua. Se puede culminar con el proceso de fermentación cuando las mediciones tomadas no cambien de un día a otro. Por ejemplo, en un mosto con el que se desea realizar una cerveza Ale, luego de realizar el enfriado tras el proceso de hervido se puede obtener una medición de densidad de 1.050 de gravedad específica, que irá bajando mientras se produce el proceso de fermentación, tras el 4 día se puede iniciar con las mediciones y normalmente se puede obtener una medida de 1.020, luego del día 5 o 6 se puede encontrar una medición de 1.010. Si para el día 7 u 8 esta medida ya no cambia entonces significa que el proceso de fermentación finalizó y se puede vaciar el fermentador [10].



Figura 7: Refractómetro usado en fabricación de cerveza y vino

Fuente: [10]

Partes del Fermentador

Los fermentadores de aluminio de cono suelen estar conformados de diversos elementos básicos que se detallan a continuación:

Tabla 1: Partes de un fermentador

Esquema de Fermentador	#	Elemento
	1	Tapa
	2	Boquilla de ingreso de agua
	3	Chaquetas
	4	Boquilla de salida de agua
	5	Entrada de sensor de temperatura
	6	Cono
	7	Boquilla de desfogue
	8	Soportes
	9	Boquilla de salida de producto
	10	Conducto de ventilación
	11	Aislante de poliuretano
	12	Boquilla de ingreso de producto

Fuente: Autor

Transferencia de Calor

La transferencia de calor es el proceso físico que busca predecir la transferencia de energía que ocurre de un medio a otro como resultado de la diferencia de sus temperaturas, de manera que cuando ambos sistemas entran en contacto se produce un flujo de energía desde el medio de mayor temperatura hacia el menor hasta alcanzar el equilibrio térmico. A diferencia de la termodinámica que maneja sistemas en equilibrio, la transferencia de calor se sostiene de la primera y segunda ley de la termodinámica para establecer la tasa de transferencia de

energía y poder predecir la temperatura de ambos cuerpos o fluidos. Esta transferencia de calor puede suceder mediante la conducción, convección y radiación [13].

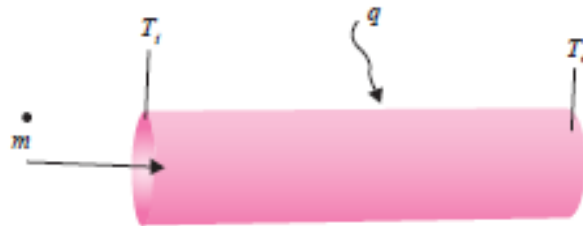


Figura 8: Transferencia de calor por convección

Fuente: [13]

Conducción

La transferencia de calor por conducción ocurre cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo y la región con la temperatura más alta transfiere su energía hacia la región con temperatura más baja, de manera que la tasa de transferencia de calor por unidad de área es proporcional a la temperatura normal del gradiente a razón de la constante de conductividad térmica del material, de manera que se puede expresar con la fórmula:

En otras palabras, la conducción es aquella transferencia que ocurre de un lado a otro de un mismo cuerpo o entre dos cuerpos en contacto, de manera que los átomos en movimiento del área de mayor calor empujen los átomos del cuerpo con menor calor transfiriéndoles así calor. Existen materiales que poseen una baja conductividad térmica como por ejemplo el aire o la madera, mientras hay otros que son buenos conductores de calor como el aluminio, el hierro y otros metales [13].

Convección

La convección es la transferencia que se da entre un cuerpo hacia gases o líquidos de zonas calientes a frías debido a que el calor provoca que el fluido disminuya su densidad y esto produce que suba. En este caso el gradiente de

temperatura depende de la tasa a la que el fluido se lleve el calor, entonces una alta velocidad del fluido produce un gran gradiente de temperatura. Se puede expresar el efecto promedio de convección entre un cuerpo y un fluido con la ley de Newton de enfriamiento

La convección puede ser libre si no intervienen fuerzas externas, y es forzada cuando se aplica una fuerza para mover el fluido. Como ejemplo se puede detallar el agua que está hirviendo en una olla, que como se encuentra sobre una hornilla encendida el agua caliente del fondo sube forzando el movimiento de la fría de la superficie [13].

Temperatura

Es la magnitud que nos indica la cantidad de calor existente en un medio, en otras palabras, es el movimiento de la energía cinética promedio de las moléculas dentro de una sustancia de manera que al añadir calor sus moléculas se mueven más rápido por lo que la medida de la temperatura crece, o viceversa. En otras palabras, es aquella propiedad física que nos da la noción de calor o la ausencia de este.

Cuando se trata de un sólido en vez de movimiento se habla de las vibraciones de sus partículas, varias propiedades de los materiales se ven alteradas ante el cambio de temperatura ya que sufren cambios en su estado, su volumen o presión. Suele medirse con ayuda de termómetros calibrados de acuerdo con la multitud de unidades que existen. Las unidades de temperatura más utilizadas para medir este fenómeno físico de acuerdo con los sistemas de magnitudes son los grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), los grados Fahrenheit (F), los grados Rankine (R) o los grados Kelvin (K), entre otros [14].

Temperatura en la producción de cerveza

La actividad de las enzimas se ve influida por la temperatura a la que se encuentre el mosto y esto es de gran importancia en el proceso de elaboración de cerveza debido a que temperaturas muy altas pueden generar elementos, olores y sabores indeseables en la cerveza, por lo cual se debe prestar mucho cuidado de

la temperatura en cada proceso. Al ser óptima se activan las enzimas necesarias para obtener la mayor cantidad de azúcares fermentables en el proceso de maceración, pero si se produce a una temperatura demasiado alta se activarán otras enzimas que degradarán otros elementos como las cáscaras de la malta, produciendo cloro fenoles que son compuestos tóxicos para el cuerpo humano que generarán en la cerveza sabores similares a la medicina, desinfectante, cloro o plástico.

En la fermentación de cervezas Ale se debe mantener un rango de temperatura óptimo de entre 18 °C a 25 °C dependiendo del tipo de levadura empleado, si este proceso ocurre fuera de estos rangos, a temperaturas bajas se detiene la fermentación formando compuestos como el diacetilo que produce un sabor y olor similar a la manteca, mientras que a temperaturas superiores se producen alcoholes superiores. También ocurre en las cervezas de tipo Lager cuando se fermenta sobre los 10°C. Los estos alcoholes se encuentran en la cerveza, pero en cantidades mayores producen una sensación quemante, como un solvente y un sabor más fuerte a alcohol, aunque el contenido alcohólico de la cerveza no se vea afectado se acentúa este sabor, produciendo a su vez una baja retención de espuma y baja carbonatación porque este compuesto es dañino para las levaduras.

Un aumento en la temperatura de fermentación también produce procesos metabólicos indeseables en los microorganismos vivos utilizados, en este caso levaduras; acelerando los procesos enzimáticos. A 0 °C no ocurren estos procesos y mientras se va aumentando la temperatura las reacciones comienzan a aparecer lentamente llegando a un máximo de 37 °C aproximadamente según el tipo de levadura, a esta temperatura ocurrirá un cambio en la estructura enzimática disminuyéndola y finalmente eliminando esta actividad y eventualmente se produce la muerte celular. Se puede controlar la temperatura de la fermentación mediante la estabilización de la temperatura por frío [15].

Volumen

Es una magnitud que indica el espacio que ocupa un cuerpo, suele ocuparse en su medición como unidades el metro cúbico, el pie cúbico, o generalmente el litro.

Esta magnitud puede verse alterada con la temperatura debido a que al subir el calor la temperatura aumenta y los sólidos y los líquidos tienen a dilatarse. Físicamente todos los cuerpos ocupan un volumen debido a estar formados en tres dimensiones.

Para realizar una medición del volumen de un líquido se suele utilizar instrumentos tales como probetas o matraces, mientras que para un sólido se puede realizar cálculos mediante el uso de fórmulas matemáticas [16].

Acero Inoxidable

Es una aleación de metal que se utiliza ampliamente en el mundo debido a sus propiedades, está formado por hierro, carbono y cromo, de manera que se crea una capa protectora de óxido de cromo la cual es la responsable de dar a este acero esta propiedad. Por lo tanto, este metal tiene una elevada durabilidad contra la corrosión, también se suele añadir níquel para poder proporcionar una mayor solidez en el metal, molibdeno para añadirle resistencia en condiciones extremas.



Figura 9: Elementos de cocina fabricados con acero inoxidable

Fuente: [17]

Es ampliamente usado en la industria alimenticia para la construcción de utensilios, ollas, tanques, entre otros elementos debido a que es un metal higiénico y duradero que además es resistente a altas temperaturas a diferencia

del aluminio. Entre las muchas variedades de este metal existen los grupos de aceros inoxidable martensíticos que se componen de cromo y carbono, los inoxidables ferríticos que solo tienen cromo, el acero inoxidable austenítico que contienen níquel y es el más utilizado por ser muy resistente contra altas y bajas temperaturas, a los golpes, a la corrosión y a los ácidos, aparte de no ser un metal magnético. También existen aleaciones de níquel-cromo-molibdeno e incluso con nitrógeno y silicio. En la industria ecuatoriana se suele utilizar en la construcción de elementos tales como tanques, ollas, utensilios de cocina y en la construcción civil a el acero inoxidable AISI 316, 316L y 304 [17].

Tanque de Fermentación

Es un equipo que se suele denominar también como recipiente de fermentación y generalmente se utiliza en la industria cervecera en donde es una parte esencial dentro del proceso de elaboración del producto, su función es la de almacenar el mosto y la cerveza para que se fermente. Dentro del recipiente ocurre un proceso en el que la levadura fermenta al mosto para convertir la glucosa en alcohol mientras se libera CO₂, además la levadura necesita de un ambiente cerrado para poder multiplicarse. Por lo general una cerveza de tipo artesanal tarda unas 4 semanas en alcanzar la maduración por lo que se debe de disponer de la cantidad necesaria de tanques de fermentación para conseguir la producción requerida. Estos tanques suelen estar contruidos de acero inoxidable o cobre [18].



Figura 10: Tanques Fermentadores marca Micet Craft

Fuente: [18]

Chaquetas

Se utilizan en sistemas de transferencia de calor para la refrigeración o calefacción y suelen tener un diseño con cierta abertura por donde circula un líquido que se estanca entre la pared exterior del tanque y la chaqueta de manera que mediante transferencia de calor mantenga el interior del tanque a la temperatura deseada. En ocasiones puede existir sistemas en donde se realice la función de calefacción y refrigeración a la vez en el mismo tanque mediante una separación del circuito. Si se necesita que el tanque se encuentre a temperaturas inferiores a 0° se suele utilizar agua con otros químicos que disminuyen el punto de congelación de este líquido. Suelen ir soldadas a la pared interna del tanque y sujetadas por medio de una jaula para evitar que se golpee con la pared externa del tanque al momento de su transporte. La carcasa se une al tanque por puntos de soldadura, por lo que este intercambiador de calor tiene forma de hoyuelos [19].



Figura 11: Tanques con chaquetas en forma de hoyuelos

Fuente: [19]

Tanque enchaquetado con agitador



Figura 12: Modelo de un tanque enchaquetado de 400 litros con agitador

Fuente: [20]

En muchos sistemas en donde se debe de mantener una temperatura constante durante un periodo de tiempo se debe de utilizar sistemas de intercambio de calor, por ejemplo, las chaquetas de enfriamiento o calentamiento las cuales van por lo general en el exterior del tanque recubriéndolo y suelen ir provistos de un equipo de agitación para que se pueda mejorar los coeficientes de la transferencia de calor. Las dimensiones básicas que se emplean en el momento del diseño son la altura de la parte húmeda del tanque y su diámetro, la longitud de la paleta el agitador y la altura desde el fondo de la paleta al del recipiente.

La chaqueta debe de ser modelada como un recipiente por donde ingresa un fluido a cierta temperatura y por donde sale el fluido a otra temperatura, además se debe de tener en cuenta las características geométricas del tanque debido a que esto determina la trayectoria del fluido y las condiciones de mezclado que distribuirán la materia y el calor [20].

Sistemas de Control

Se encargan de gestionar los procesos y controlar que funcionen correctamente. Se usan en un conjunto de dispositivos de tipo eléctrico, mecánico, neumático o hidráulico ordenados para poder alcanzar un objetivo específico, conteniendo dentro de su base a la variable que se quiere controlar, un sensor o actuador y algún punto de control o referencia. Se puede realizar dos tipos de sistema de control los cuales son de lazo abierto y de lazo cerrado.

- **Sistema de control de lazo abierto:** Básicamente son sistemas en los que no existe una retroalimentación a la variable por lo que los datos de salida no dependen de los de entrada, de manera que se puede utilizar para procesos en donde la variable se comporte de forma predecible y que el margen de error permisible sea amplio.
- **Sistema de control de lazo cerrado:** A diferencia del sistema anterior, en estos sistemas se debe de conocer información de la variable que puede ser obtenida mediante sensores para tener una retroalimentación continua de manera que el proceso sea completamente autónomo [21].

PLC

Por sus siglas en inglés significa Control Lógico Programable y son equipos utilizados para automatizar procesos permitiendo que las máquinas se comporten de manera específica en todos los aspectos que la conforman. Son básicamente computadoras industriales que realizan las operaciones de autodiagnóstico para revisar todo el circuito y enviar una señal, también realizan operaciones de lectura de entradas, realización de programas y el registro de datos en la salida. Suele utilizarse varios lenguajes para realizar su programación de acuerdo con el PLC utilizado y mediante una interfaz amigable se realiza la comunicación con el operador. La programación puede ser cambiada en cualquier momento y el modelo puede ser de diversos tipos para satisfacer las necesidades del proceso que va a automatizar [22].



Figura 13: PLC de la marca Siemens

Fuente: [22]

Arduino

Es una placa electrónica programable que se basa en la filosofía de software libre, por lo que utiliza una plataforma de código abierto de manera que se pueda utilizar de forma sencilla. Básicamente es una placa que funciona como un microordenador que brinda las instrucciones programadas por el usuario a dispositivos electrónicos, procesos o proyectos interactivos [23].

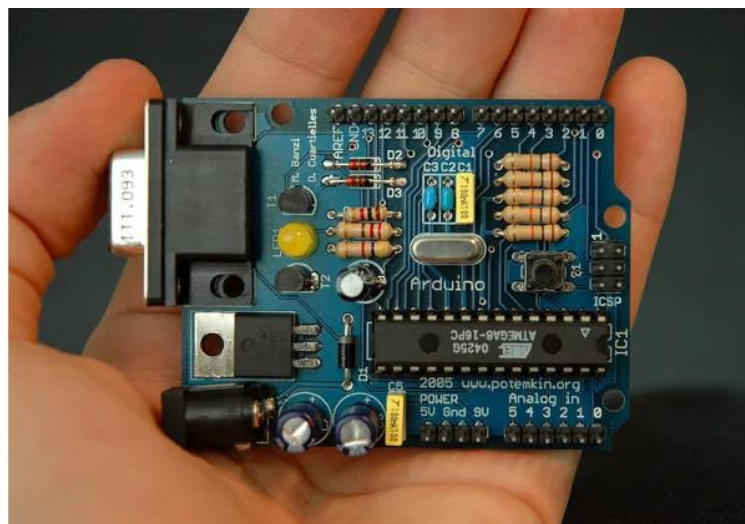


Figura 14: Placa Arduino

Fuente: [23]

Variador de velocidad

El variador cumple la función de controlar la velocidad de agitación dentro del tanque modulando la energía que recibe el motor. Son aquellos dispositivos que permiten variar la velocidad de los motores asíncronos trifásicos al convertir una magnitud fija de frecuencia a magnitudes variables. Suelen ser utilizados debido a que ayudan a controlar la energía utilizada por el motor de manera que economizan la energía, también poseen sistemas de control sencillos y estables [20].



Figura 15: Variador de velocidad

Fuente: [20]

Sensor de temperatura

Son sensores utilizados en la medición de la temperatura superficial de sólidos y líquidos o para medir la temperatura del aire. Existen versiones que se usan en la industria alimentaria siendo elaborados de acero inoxidable y deben de poder crear un punto de medida aséptico aparte que en operaciones como estas la respuesta y precisión de la detección es crítica para el control de calidad del producto.

Conociendo la temperatura del sistema en todo momento se puede evitar un sobrecalentamiento lo que influye en el riesgo del daño del producto, por este motivo existen se toman medidas preventivas las cuales deben ser confiables para el buen funcionamiento del sistema. Se deben de instalar en dispositivos para que puedan medir la temperatura en el medio de manera precisa y eficiente de acuerdo con las necesidades requeridas [24].



Figura 16: Diferentes tipos de sensores de temperatura

Fuente: [24]

Sensor de Presión

Un sensor de presión es utilizado para detectar la presión real a la que es sometido el sensor en un determinado espacio por acción de la presencia de un fluido y transforma en una señal de salida analógica esta información. Utilizan diversas tecnologías para poder entregar mediciones precisas como por ejemplo las galgas extensiométricas, sensores capacitivos o sensores piezorresistivos, entre otros. El sensor más utilizado para la medición de presión en el interior de tanques son los de presión absoluta debido a que controlan la presión con relación al medio en que se rodean (vacío) de manera que no se afectan por las variaciones en la presión atmosférica ni de la temperatura [25].



Figura 17: Diversos tipos de sensores de presión

Fuente: [25]

Sensores de nivel

Son dispositivos electrónicos que se emplean dentro de recipientes o tanques para medir la altura a la que se encuentra un material que puede ser líquido o sólido. Pueden ser sensores de nivel de punto que miden la altura según un nivel definido y los sensores de nivel continuos los cuales miden el nivel de un fluido en un rango específico de manera que generan una señal de salida analógica que se vinculan a un sistema de control [26].



Figura 18: Sensores de nivel de tipo continuo

Fuente: [26]

Bomba centrífuga de agua

Una bomba centrífuga es aquella que transforma la energía mecánica de un motor en energía cinética proporcionada a un fluido, es decir, cambia la energía mecánica en hidráulica. Es utilizada para movilizar fluidos a través de tuberías de un lugar a otro. Es muy utilizada en la industria química, cosmética y alimentaria para elaborar una gran cantidad de productos. Su funcionamiento es sencillo, el fluido pasa por el centro del impulsor del motor que con ayuda de un álabe conduce el fluido hacia el exterior en donde pasa por el cuerpo de la bomba hacia las tuberías de salida, la velocidad del caudal depende de la potencia del motor [27].



Figura 19: Funcionamiento de una bomba centrífuga

Fuente: [27]

Electroválvula

Son utilizadas para controlar el caudal de los líquidos o gases empleando la presión del sistema para abrir y cerrar su cuerpo. Sustituyen a las válvulas manuales para poder ser controladas automáticamente al recibir una señal, lo que energiza la bobina creando un campo magnético que abre el émbolo permitiendo de esta manera el paso del fluido. Están formadas por una bobina, el émbolo y un tubo guía, pueden ser normalmente abiertas o normalmente cerradas dependiendo del tipo de sistema. Estos elementos de control se utilizan frecuentemente para el paso de fluidos, cortando, liberando, distribuyendo o dosificando su flujo permitiendo de esta manera un cambio seguro y de alta durabilidad utilizando una potencia baja y un diseño compacto [28].



Figura 20: Ejemplo de electroválvula de marca Burkert

Fuente: [28]

Normas ASME

La sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME por sus siglas en inglés) es una organización sin fines de lucro que busca el intercambio de conocimientos entre ingenierías desarrollando normas generales de diversos temas y tecnologías incorporando nuevos métodos de cálculo e introduciendo cambios de acuerdo con los nuevos avances que van surgiendo. Fue fundada en 2004 para proporcionar normas y códigos para las tecnologías emergentes. Las normas están escritas por diversos voluntarios que se especializan en el área de estudio en concreto y que con sus conocimientos técnicos contribuyen a la creación e interpretación del documento. Estas normas son reconocidas en más de 100 países y son ampliamente utilizadas para todo tipo de diseño, prácticamente todo tipo de electrodomésticos, herramientas manuales, dispositivos electrónicos calderas y demás elementos mecánicos usan estas normativas.

Para poder producir los códigos y normas ASME tiene un concejo general que controla a seis concejos que supervisan el desarrollo de las normas, además de cuatro concejos asesores los cuales se encargan de gestionar unos cien comités y alrededor de cinco mil miembros voluntarios.

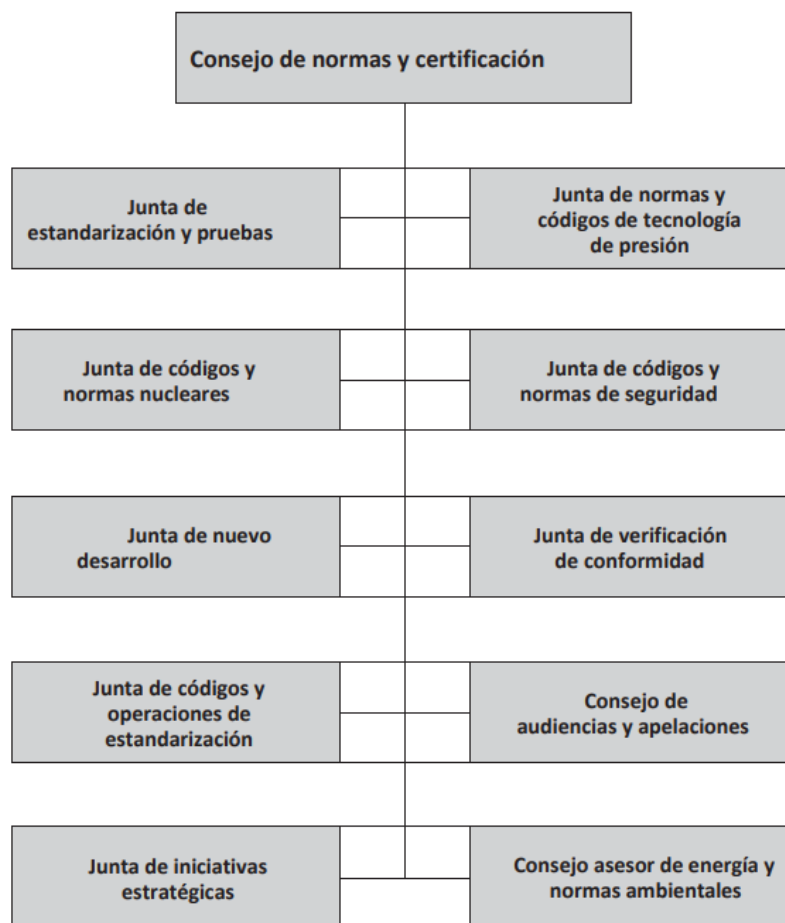


Figura 21: Organización de normas y certificación

Fuente: [29]

Entre las diferentes normativas que están dentro de ASME se encuentra el código para calderas y recipientes a presión en donde se establecen parámetros de diseño, fabricación e inspección para que sean componentes con una larga vida útil y que sean seguros con las personas y la propiedad. Esta norma en sus primeras etapas surgió como resultado de la gran cantidad de accidentes y explosiones que ocurrían en Estados Unidos por el mal uso o el pésimo diseño de máquinas de vapor durante el transcurso del siglo 19. Para 1915 se publicó el primer conjunto de normas y especificaciones para el correcto diseño de calderas, en la actualidad la norma conocida como BPVC es la más grande dentro de la normativa ASME y participa un gran número de voluntarios que incluyen ingenieros mecánicos, ingeniería civil, ingeniería física y química entre otras. Esta norma indica no solo el diseño de calderas y recipientes a presión sino también el uso de los materiales, la construcción y recomendaciones.

Esta norma se denomina como ASME sección VIII y tiene dos divisiones, siendo la división 1 la que se refiere a la construcción de recipientes que pueden soportar tensiones admisibles más elevadas y con ecuaciones más precisas que en el caso de la división 2, pero se usa principalmente cuando se quiere realizar análisis de elementos finitos. Además, se diferencian entre sí por los márgenes de diseño, en la división 1 se debe mantener una presión interna 1,3 veces la presión de diseño mientras que la división 2 utiliza una presión 1,25 más grande. Además, deben de ser certificadas por un ingeniero profesional registrado cuando se quiera realizar un análisis de fatiga [29].

1.2. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un prototipo de sistema de fermentación industrial para la empresa “Induacero Cía. Ltda.”.

Objetivos Específicos

- Plantear parámetros de diseño del sistema de fermentación.
- Seleccionar alternativas de diseño para el sistema de fermentación.
- Seleccionar los materiales óptimos para el diseño del prototipo.
- Diseñar el tanque para almacenamiento con sus accesorios.
- Analizar la transferencia de calor en el tanque para almacenamiento.
- Diseñar un sistema de control de temperatura que regule el proceso de enfriamiento.
- Plantear recomendaciones de operación y mantenimiento

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para la construcción del tanque fermentador se necesita los siguientes materiales:

Planchas de Acero Inoxidable AISI 304

Es el principal material que se utilizará en este tanque y que se utilizará en la mayoría de los elementos debido a ser un acero inoxidable austenítico con un esfuerzo permisible de 15700 lb/plg², este dato de diseño es válido para temperaturas desde los -20 °F a 100 °F. Se va a utilizar planchas de este acero debido a que es considerado el más versátil de los aceros inoxidables austeníticos, además es el acero que más se utiliza en la empresa para realizar todo tipo de tanques y contenedores. Cabe recalcar que se elige este acero y no otro de mejores características como por ejemplo el acero inoxidable AISI 316 por cuestión de costos. Las partes que se construirán con este material son el envolvente, el forro, el cono, las chaquetas y la tapa.

Plancha de Acero ASTM A36

Este acero es resistente y no es muy costoso, con este material se va a construir la jaula, que sostendrá a la chaqueta y evitará que se golpee contra la pared exterior del forro al momento del transporte, por lo que no estará en contacto con el agua y en este caso no se necesita de un acero con propiedades inoxidables.

Espuma Aislante de Poliuretano

Esta espuma se coloca entre la chaqueta y la pared del forro del tanque, rodeando a la jaula. En la empresa se utiliza como aislante térmico mediante la reacción de dos componentes químicos que son el polioli e isocianato. Es un material idóneo para el






tipo de aislamiento requerido en el fermentador debido a que soporta temperaturas que oscilan entre los -10° hasta los 35°.

Ferrules, Neplos, Válvulas y Tubos de Acero Inoxidable

Los ferrules se utilizan como las conexiones por donde se conectarán las mangueras y otros aditamentos al fermentador, mientras que los tubos se utilizan en los soportes y para soldarlos a los ferrules para obtener como resultado aditamentos de distinta longitud. Los neplos se sueldan al forro para permitir el ingreso de agua a las chaquetas y son elementos que resisten grandes esfuerzos de presión y carga, mientras que las válvulas de tipo mariposa se enroscan a los neplos para abrir y cerrar el paso de agua. La empresa adquiere estos elementos en varias medidas para colocar en los diversos recipientes. Están contruidos en acero inoxidable AISI 304 debido a que es el acero que usa la empresa y en el tanque se debe utilizar elementos del mismo material.

Tabla 2: Resumen de elementos y materiales

Elemento	Material	Descripción y ubicación	Imagen
Envolvente	Acero Inoxidable AISI 304	Plancha cortada, varolada, soldada y pulida Grid 180 (Interior del tanque)	
Forro	Acero Inoxidable AISI 304	Plancha cortada, varolada, soldada y pulida (Exterior del tanque)	
Tapa	Acero Inoxidable AISI 304	Plancha cortada, doblada y pulida (Cubierta del tanque)	
Cono	Acero Inoxidable AISI 304	Plancha cortada, doblada y pulida (Parte inferior del tanque)	
Chaqueta	Acero Inoxidable AISI 304	Plancha cortada, embutida y soldada (Exterior del envolvente)	
Jaula	Acero ASTM A36	Plancha cortada en tiras, doblada y soldada (Entre chaquetas y forro)	

Elemento	Material	Descripción y ubicación	Imagen
Espuma Aislante	Poliuretano	Reacción química que forma espuma aislante (Entre chaquetas y forro)	
Ferrul	Acero Inoxidable AISI 304	Adquirida y soldada (Une forro y envolvente)	
Neplo	Acero Inoxidable AISI 304	Adquirida, cortada y soldada (Exterior del forro)	
Válvula	Acero Inoxidable AISI 304	Adquirida y enroscada (Unida al neplo)	
Tubo	Acero Inoxidable AISI 304	Adquirido, cortado y soldado (Soportes, y ferrules)	

Fuente: Autor

Diagrama general del proceso de diseño

Es necesario detallar el proceso de diseño del fermentador para indicar los pasos que se deberían seguir para culminar con los cálculos y su posterior construcción.

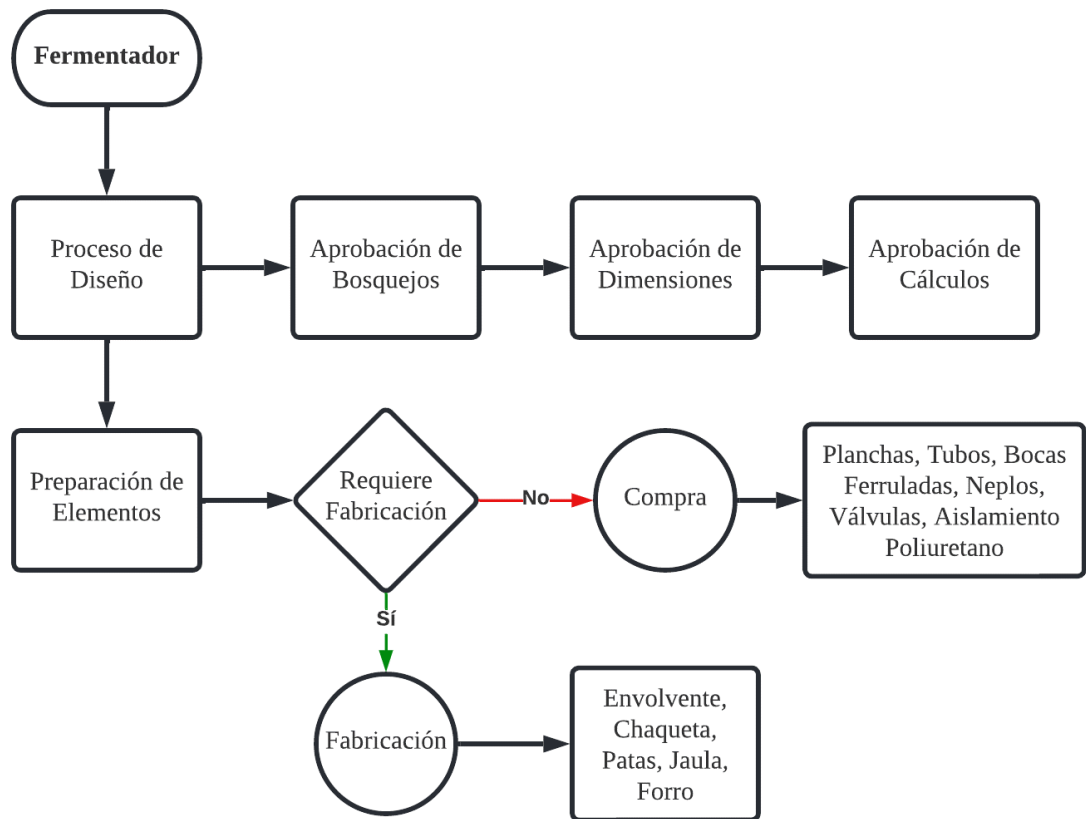
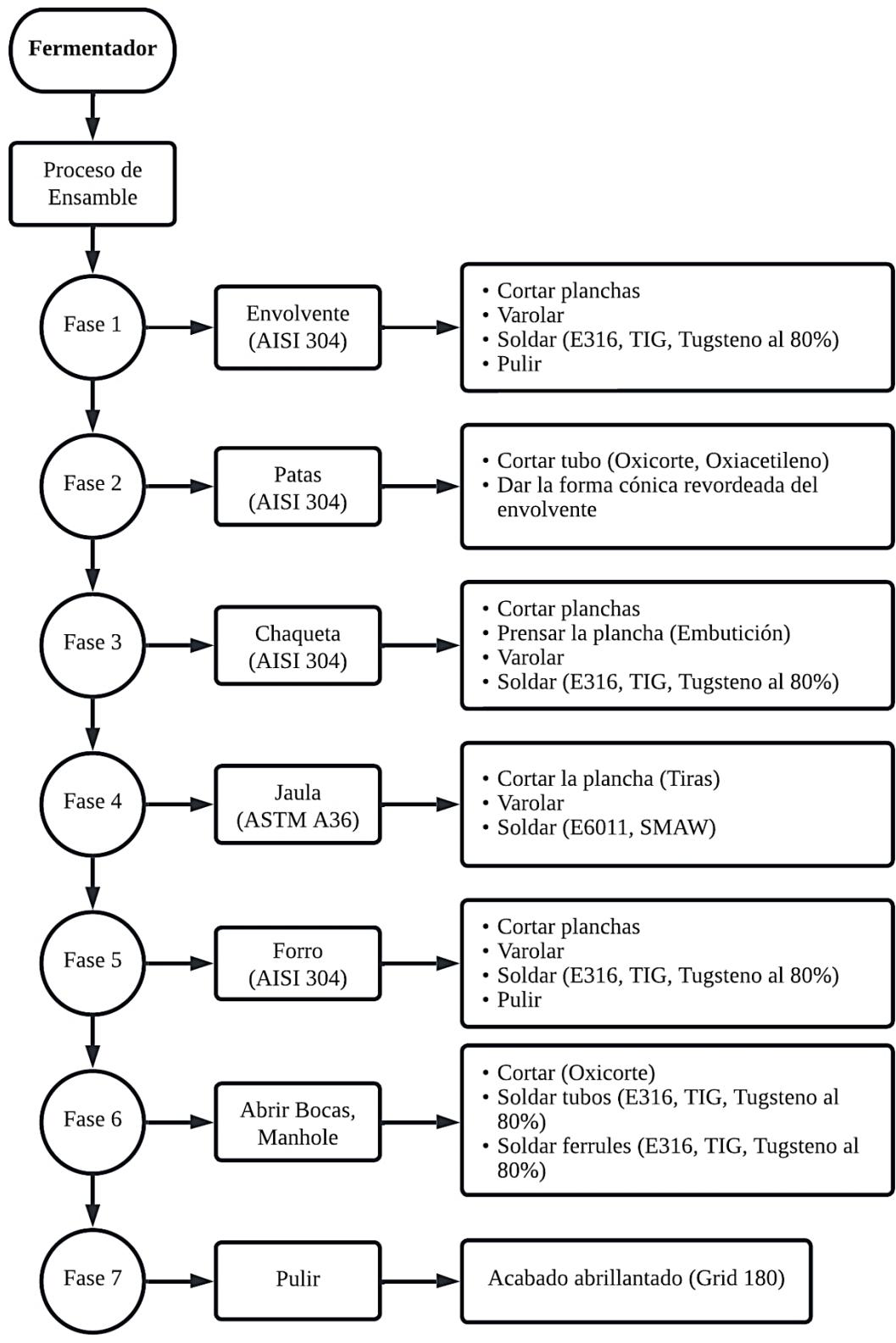


Diagrama de ensamble

El siguiente diagrama se detalla las fases en las que se divide el proceso de ensamble del fermentador utilizando todos los materiales necesarios y las operaciones que se debe de realizar en cada una de sus partes.



2.2. Métodos

Propiedades del mosto de malta de cebada

El mosto es el resultado del macerado que se realiza a las maltas de cebada para extraer todos los azúcares fermentables que luego serán consumidos por las levaduras para convertirlos en alcohol y CO₂, además se le realiza un proceso de hervido para eliminar cualquier microorganismo que haya estado presente o se haya agregado accidentalmente durante su obtención. En este proceso además se le incorpora el lúpulo [12].

Luego de pasar por un proceso de enfriado rápido hasta alcanzar una temperatura para que no elimine a la levadura y de una oxigenación que permitirá un ambiente óptimo para la fermentación, el mosto suele tener las siguientes propiedades según el tipo de malta empleada y el tipo de cerveza que se desea obtener:

Tabla 3: Propiedades del mosto

Propiedad	Tipo de Cerveza	
	Ale	Lager
Temperatura	18°C – 25°C	4°C – 12°C
Cantidad de Oxígeno	8PPM – 12 PPM	8PPM – 12 PPM
Gravedad Específica	1,020 – 1,160	1,020 – 1,080
Fermentación	Alta	Baja

Fuente: [12]

Selección de alternativas

En el fermentador se reproducen microorganismos que se desenvuelven a través de todo el medio acuoso el cual contiene los elementos necesarios para que crezca el organismo y se forme el producto deseado. Nutrientes como el oxígeno deben de estar distribuirse a cada levadura eliminando a su vez los productos de desecho como son el calor y el CO₂.

Esto lo podemos conseguir mediante un sistema de fermentación óptimo para el que se recomienda seguir las siguientes reglas de operación:

- El diseño del fermentador debe ser hermético para no permitir el ingreso de organismos contaminantes ni tampoco dejar salir los organismos deseados.
- No debe de existir escapes ni evaporación del producto y el cultivo de levaduras debe ser constante.
- Debe ser capaz de mantener una temperatura constante y homogénea.
- El nivel de oxígeno disuelto en el líquido debe de estar dentro de niveles que no estresen a las levaduras por lo que no debe producirse una aireación ni agitación excesiva.
- El PH y la temperatura del ambiente deben estar controlados y no deben interferir con el cultivo
- Debe ser posible una fácil limpieza dentro del fermentador para evitar que otros microorganismos se queden incrustados y contaminen próximas producciones.
- El costo de construcción no debe de ser elevado debido a que el fermentador está enfocado a pequeños productores de cerveza.

El objetivo es seleccionar al mejor fermentador para lo cual se procede a evaluar las alternativas de acuerdo con los criterios descritos, se procede a realizar un análisis mediante el método de ponderación de factores, para lo cual se ha seguido una metodología.

En primer lugar, se definen los factores a considerar para poder tomar una decisión y a su vez se asigna una ponderación a cada uno (%) de acuerdo con el peso arbitrario que tenga cada criterio para nosotros en la toma de la decisión.

Tabla 4: Criterios de selección con su respectiva ponderación

Criterio	Ponderación (%)
Costo de construcción	20
Hermeticidad	30
Aireación	10
Homogeneidad de la mezcla	10
Facilidad de operación de limpieza	20
Costo de operación	10

Fuente: Autor

El primer criterio se refiere al costo total que supone construir el fermentador, tratando de ocupar la menor cantidad de material para que resulte más económico y en consecuencia se pueda comercializar a un precio más bajo.

El segundo criterio indica que tan hermético es el fermentador luego de cerrarse para evitar el ingreso de bacterias contaminantes, se supone que mientras más aberturas tenga mayor será la probabilidad de contaminación.

El tercer criterio indica la aireación que se le pueda dar al mosto para elevar el nivel de oxígeno de manera que pueda obtenerse un medio acuoso idóneo para la reproducción de las levaduras sin llegar al exceso de oxígeno porque eso provocaría el estrés del hongo y expulsa desechos indeseables.

El cuarto criterio indica la cantidad de levaduras que pueden estar en suspensión en el mosto para que aprovechen todos los azúcares fermentables.

El quinto criterio se refiere a la facilidad de limpieza del fermentador para evitar que partículas o bacterias extrañas se queden y contaminen próximas producciones.

Finalmente, el sexto criterio se refiere a la cantidad de energía utilizada el fermentador mientras está en operación.

Una vez definidos los criterios para la elección del fermentador se toma a consideración dos tipos de fermentador de acuerdo con su tipo de fermentación y el tipo de construcción obteniendo las siguientes alternativas:

Tabla 5: Alternativas a considerar en elección del fermentador

Alternativa
Discontinua – Tanque Agitado
Discontinua - Columna

Fuente: [5]

Después se califica cada una de las alternativas en estudio con un valor numérico de 0 a 10 para cada factor sin tomar en cuenta su ponderación, siendo 0 la de menor interés y 10 la de mayor interés. Luego se multiplica por el factor de ponderación obteniendo un valor en cada criterio. Para finalizar se suman los resultados de cada

criterio y la alternativa que tenga el valor más alto es la elegida por ajustarse más al proceso de fermentación que se requiere.

Cálculo de espesores de pared

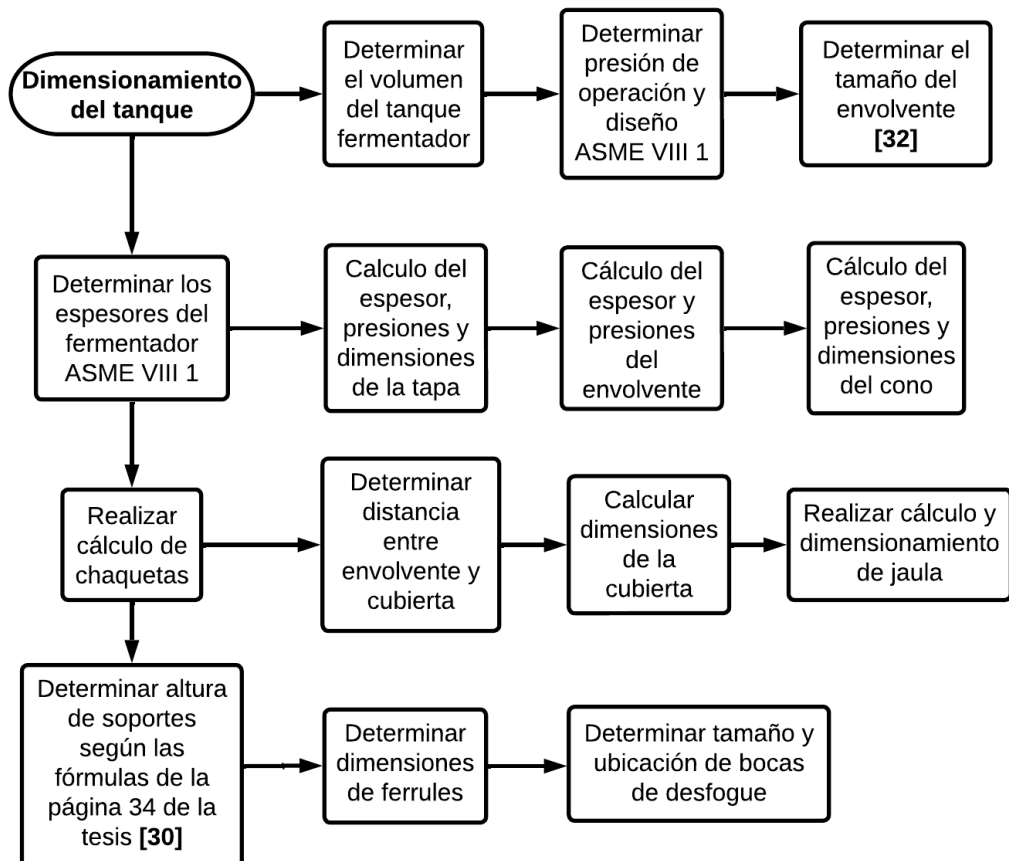
Los espesores de pared se calcularán en base a las especificaciones del código ASME Sección VIII División 1 que indican los espesores mínimos requeridos en cubiertas bajo presión interna y las fórmulas para realizar el cálculo de espesores de corazas cilíndricas [30].

Cálculo de la tapa del fermentador

Para realizar el cálculo de la tapa se tomará en cuenta las especificaciones del código ASME Sección VIII División 1 donde se indica las fórmulas para el diseño de tapas bajo presión interna [30].

Dimensionamiento del tanque

El procedimiento descrito en la empresa se indica en el siguiente diagrama [6]:

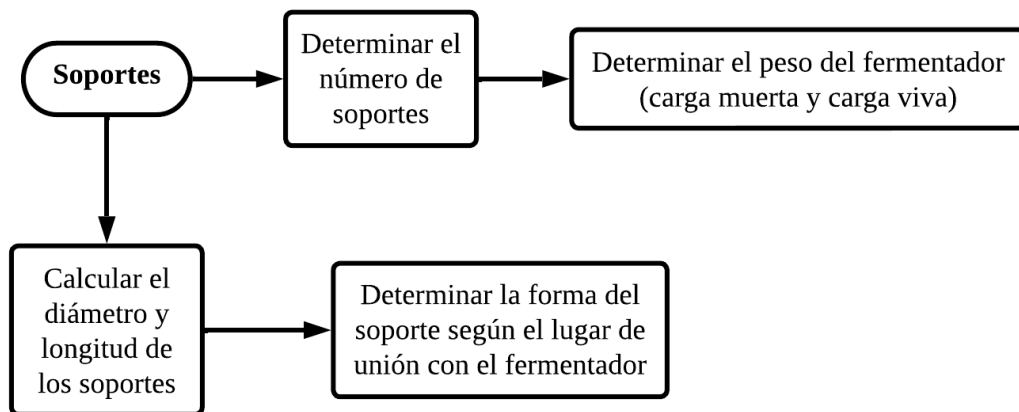


Cálculo diámetro tubos y ferrules de acero inoxidable

Por recomendación de la empresa para un tanque fermentador de esta capacidad se va a utilizar tubos de acero inoxidable AISI 304 de dimensiones comerciales de 1 1/2 pulgadas de diámetro (diámetro exterior de 48.26 mm y espesor de 2.77 mm), que irán soldados a ferrules del mismo material.

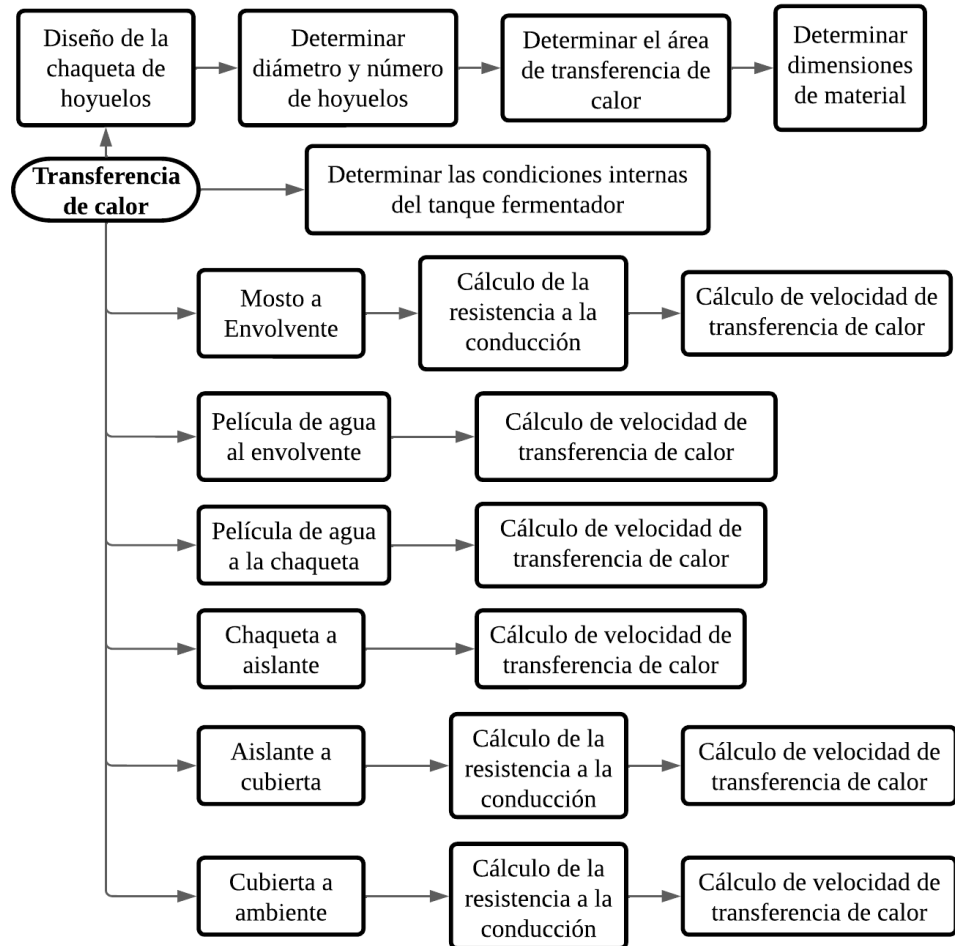
Dimensionamiento de los soportes

Se va a utilizar soportes de tipo pierna para distribuir las cargas producidas por el peso del fermentador y el mosto que se coloca en su interior. Pueden ser elaborados con tubería circular o cuadrada, perfiles o canales y estos irán soldados directamente a la carcasa del recipiente [31]. Además, se va a tener en consideración las especificaciones que indicadas en el código ASME Sección VIII División, en el requerimiento general UG-4 (b) donde se especifica que el material de las partes de un recipiente que no estén bajo presión debe de ajustarse al material del tanque si es que van soldadas a este como se indica en la subsección UW-5 (b) del código, por lo que se utilizarán soportes de acero inoxidable AISI 304.



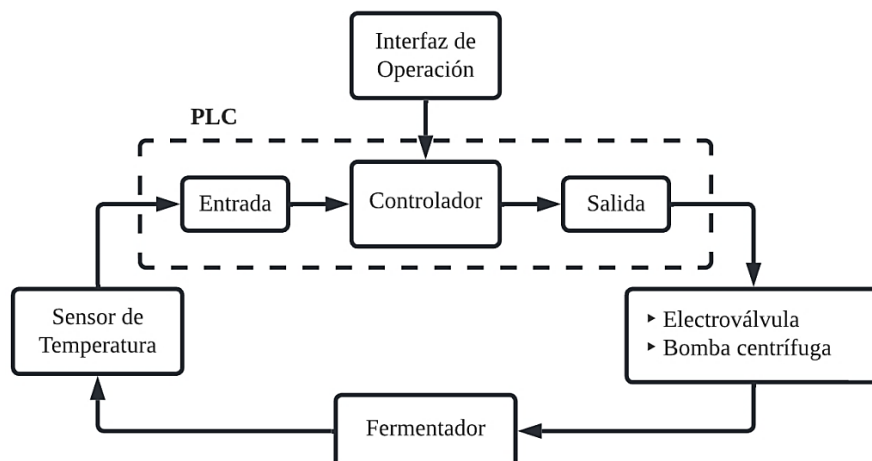
Cálculo de la transferencia de calor

La transferencia de calor sucederá por todos los elementos del tanque fermentador, el mosto por el proceso de fermentación va a aumentar su calor interno, por lo que se debe de añadir agua fría en las chaquetas para mantener la temperatura hasta un rango óptimo. Las fórmulas se obtienen del cálculo de la transferencia de calor de un tanque en [1].

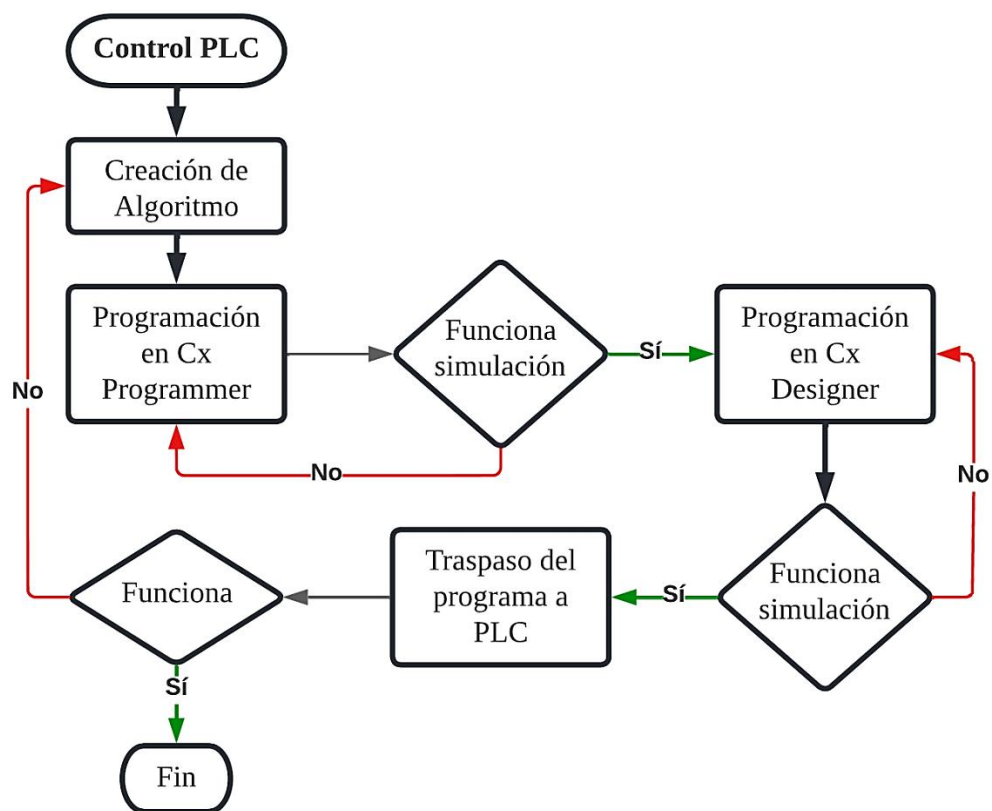


Sistema de control

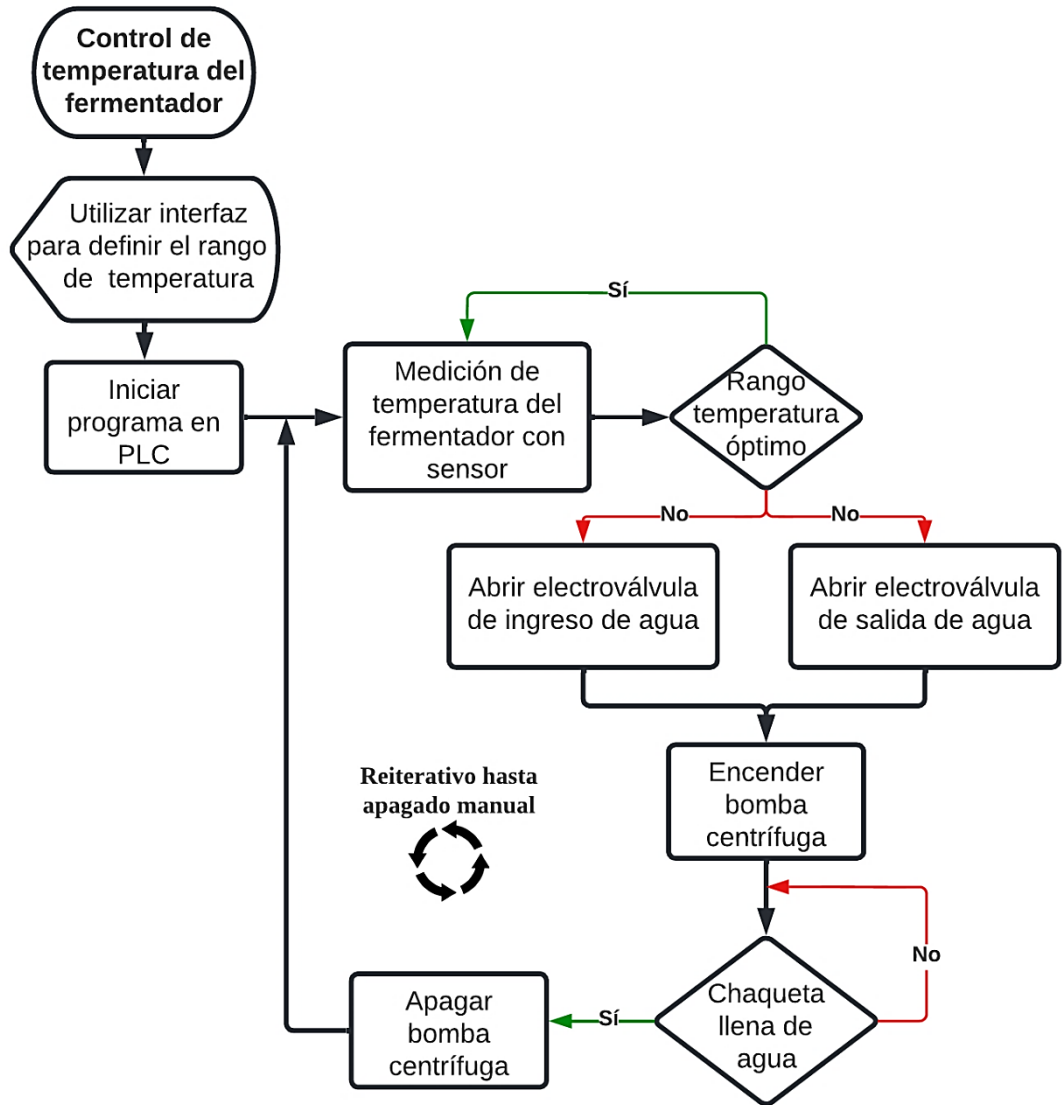
Para el sistema de control se va a utilizar un PLC de la marca Omrom debido a su fácil programación en cascada y la simulación gráfica con la que se puede realizar pruebas y cambios antes de ingresarla al PLC. El diagrama de funcionamiento del PLC se muestra a continuación:



Se va a realizar la programación en el software de Omrom Cx Programmer para luego realizar una programación gráfica en Cx Designer para que se pueda visualizar el funcionamiento del sistema de control mediante la simulación en este programa en una pantalla independiente o incluida en el PLC. El diagrama de flujo descrito a continuación indica la forma en que se realizará el sistema de control partiendo desde la programación hasta el diseño para la pantalla con las que interactúa el usuario para finalmente señalar el momento en que se debe pasar al PLC.



Es necesario indicar el funcionamiento del PLC y los diversos procesos que se van a ejecutar para realizar el correcto control de temperatura en el tanque fermentador. Para esto a continuación se indica un diagrama de funcionamiento del sistema:



CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Parámetros de Diseño

Se necesita diseñar un tanque fermentador de mosto de cebada con una capacidad de 100 litros para obtener cerveza artesanal, pero por cuestiones de seguridad se va a aumentar un 20% hasta alcanzar los 120 litros de volumen de diseño, el líquido refrigerante es agua a temperatura ambiente, el material de construcción de la jaula es el acero ASTM A36 y para los demás componentes se utilizará el acero inoxidable AISI 304. Además, se pondrá a consideración dos alternativas de fermentadores para la elección que se indican en la **Tabla 5**.

Para realizar los cálculos para la presión y transferencia de calor es necesario conocer las propiedades fisicoquímicas del mosto de cebada, pero debido a la gran cantidad de estilos de cerveza con densidades diferentes, se tomará en consideración el valor promedio en un mosto normal que oscila entre 1.030 a 1.070 kg/m³, según los estilos de cerveza más utilizados, obteniendo un valor de densidad promedio de 1.050 kg/m³.

Para conocer la capacidad calorífica y la conductividad térmica estimados se calcula mediante las fórmulas indicadas en el estudio de la revista “Centro Azúcar” [32], utilizando una temperatura óptima de fermentación de cervezas Ale de 20°C.

$$\begin{aligned}C_p &= 4.1762 - 9.0864 * 10^{-5}T + 5.4731 * 10^{-6}T^2 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)} \\C_p &= 4.1762 - 9.0864 * 10^{-5}(20^\circ\text{C}) + 5.4731 * 10^{-6}(20^\circ\text{C}^2) \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)} \quad (1) \\C_p &= 4.1766 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{C)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= 0.571 + 1.76 * 10^{-3}T - 6.70 * 10^{-6}T^2 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \\k &= 0.571 + 1.76 * 10^{-3}(20^\circ\text{C}) - 6.70 * 10^{-6}(20^\circ\text{C}^2) \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \quad (2) \\k &= 0.60352 \text{ (W/m}^\circ\text{C)}\end{aligned}$$

El volumen de CO₂ generado en el proceso de fermentación se puede obtener mediante la **Tabla 6**. Se va a tomar el nivel máximo a una temperatura de fermentación de 20°C para no exceder los límites de presión producidos por el gas. El valor es de 35.5 psi que equivale a 0.245 N/mm²

Tabla 6: Volumen de CO₂ durante la fermentación a diferentes temperaturas

Presión en psi		Volumen de CO ₂					
		2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
Temperatura en °C	0°	3.5	5.4	7.3	9.2	11.0	12.9
	1°	4.2	6.2	8.1	10.1	10.0	14.0
	2°	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0
	3°	5.7	7.8	9.9	12.0	14.0	16.1
	4°	6.5	8.6	10.8	12.9	15.1	17.2
	5°	7.3	9.5	11.7	13.9	16.1	18.3
	6°	8.1	10.3	12.6	14.9	17.1	19.4
	7°	8.8	11.2	13.5	15.8	18.2	20.5
	8°	9.6	12.0	14.4	16.8	19.2	21.6
	9°	10.4	12.9	15.4	17.8	20.3	22.7
	10°	11.3	13.8	16.3	18.8	21.3	23.8
	11°	12.1	14.7	17.2	19.8	22.4	25.0
	12°	12.9	15.6	18.2	20.8	23.5	26.1
	13°	13.7	16.4	19.2	21.9	24.5	27.2
	14°	14.6	17.4	20.1	22.9	25.6	28.4
	15°	15.4	18.3	21.1	23.9	26.7	29.6
	16°	16.3	19.2	22.1	25.0	27.8	30.7
	17°	17.1	20.1	23.1	26.0	29.0	31.9
	18°	18.0	21.0	24.1	27.1	30.1	33.1
	19°	18.9	22.0	25.1	28.1	31.2	34.3
20°	19.8	22.9	26.1	29.2	32.4	35.5	

Fuente: [18]

Tabla 7: Tabla resumen de propiedades Fisicoquímicas del mosto de cebada

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Densidad	ρ	1050	kg/m ³
Capacidad calorífica	C_p	4.1766	kJ/kg°C
Conductividad térmica	k	0.60352	W/m°C
Presión CO ₂	P_{CO_2}	2.5	kg/cm ²

Fuente: Autor

El agua es el líquido que actuará como refrigerante en la transferencia de calor y circulará por las chaquetas. Por lo tanto, se detallan sus propiedades fisicoquímicas en la **Tabla 8** que se han tomado del informe presente en la página de agua Tesalia.

Tabla 8: Propiedades fisicoquímicas del agua

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	0,001	kg/cm ³
Capacidad Calorífica	4.180	kJ/kg°C
Conductividad Térmica	0.58	W/(m * K)
Coefficiente de película	15,3000	W/cm ² °C

Fuente: [33]

El material elegido como aislante térmico es la espuma de poliuretano con 2 pulgadas de espesor, sus propiedades se detallan en la **Tabla 9**.

Tabla 9: Tabla de propiedades de la espuma de poliuretano

Propiedades		Características
Límite de temperatura	-50 °C a 110 °C	Baja conductividad térmica
Conductividad térmica	0.0028 W/mK	Impermeable
Densidad	40 kg/m ³	Alta durabilidad
Calor específico	1.674 kJ/(kg*K)	Alta adaptabilidad

Fuente: [20]

El material elegido para el diseño del tanque fermentador es el acero inoxidable AISI 304 y el Acero ASTM A36, sus propiedades mecánicas se detallan en la **Tabla 10**.

Tabla 10: Propiedades del acero ASTM A36 y el acero inoxidable AISI 304

Propiedad	AISI 304	ASTM A36
Resistencia a la tracción	690 MPa	400-550 MPa
Límite elástico	205 MPa	250 MPa
Módulo de Elasticidad	193*10 ³ MPa	200*10 ³ MPa
Coefficiente de Poisson	0.3	0.26
Calor específico	500 J/(kg * K)	465 J/(kg * K)
Conductividad térmica	16.3 W/(m * K)	25 W/(m * K)

Fuente: [30]

3.1.2. Selección de alternativas

Para realizar la selección de la alternativa de tanque fermentador más adecuada se procederá a utilizar los criterios y la ponderación indicados en la **Tabla 4** y las opciones para realizar la evaluación que aparecen en la **Tabla 5** mediante el método de ponderación de factores.

Tabla 11: Ponderación de factores para selección de fermentador

Criterio	Ponderación (P) (%)	Discontinua – Tanque agitado		Discontinua - Columna	
		Calificación (x)	(P)(x)	Calificación (x)	(P)(x)
Costo de construcción	20	8	160	10	200
Hermeticidad	30	6	180	8	240
Aireación	10	5	50	1	10
Homogeneidad de la mezcla	10	7	70	5	50
Facilidad de operación de limpieza	20	6	120	10	200
Costo de operación	10	6	60	10	100
Total	100		640		800

Fuente: Autor

Una vez analizadas las alternativas y según los resultados obtenidos por el método de ponderación de factores, el fermentador que más se ajusta a los requerimientos propuestos por la empresa y brinda las prestaciones necesarias para obtener el volumen de cerveza artesanal indicado, es el sistema de fermentación discontinua y construcción de tipo columna.

3.1.3. Diseño Mecánico

a. Cálculo y dimensionamiento del recipiente

Para realizar el diseño mecánico del tanque fermentador y sus cálculos respectivos se va a calcular el espesor óptimo del recipiente (tapa, envolvente y cono) según el código ASME, sección VIII, división 1.

Presión de operación (P_o)

Es la presión de trabajo a la que se somete el tanque en condiciones normales de operación. Esta presión tiene como valor máximo 2.45 Bar que equivale a 2.5 kg/cm^2 , de acuerdo con la **Tabla 7**, este valor es necesario para que pueda soportar la carbonatación natural que se produce por la fermentación.

Presión de diseño (P)

Se utiliza las consideraciones descritas en el código ASME, sección VIII, División 1 en las siguientes fórmulas:

$$\text{Si } P_o > 21.09 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow P = 1.1 * P_o \quad (3)$$

$$\text{Si } P_o \leq 21.09 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow P = P_o + 2.109 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (4)$$

Como la presión de operación utilizada es de 2.5 kg/cm^2 reemplazamos en la ecuación (4).

$$P = 2.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 2.109 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (5)$$

$$P = 4.609 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (6)$$

Temperatura de Trabajo

El fermentador estará sometido a temperaturas que varían entre 5 °C a 25 °C dependiendo del tipo de cerveza elaborado. Se debe evitar que se supere este rango de temperatura porque el producto final puede tener propiedades indeseables.

Aumento de volumen por dilatación

El mosto de cebada va a sufrir cambios de temperatura, por lo que va a modificar su volumen por dilatación, para poder encontrar este cambio de volumen es necesario utilizar el coeficiente de dilatación térmica volumétrica del mosto el cual no es un valor estandarizado debido a que es una solución que contiene azúcares, proteínas, sales y minerales, y su coeficiente de expansión térmico puede variar dependiendo de la densidad, la composición química, y las condiciones específicas de la solución.

Además, el mosto de cebada es una solución compleja en la que el comportamiento termodinámico de los componentes individuales puede ser diferente, y no se tiene un coeficiente de expansión térmica específico para este líquido.

Sin embargo, es posible que se pueda obtener información específica mediante experimentos o mediante una mezcla de modelos y datos de otras soluciones similares. Por esta razón para este cálculo se va a utilizar el coeficiente de dilatación térmica volumétrica del agua [34], debido a que el mosto en su mayoría contiene este líquido así que debería comportarse de manera similar tomando en cuenta que no existe un cambio de temperatura tan alto.

$$\Delta V = \beta * V_i * \Delta T \tag{7}$$

Siendo:

- ΔV = Variación de volumen
- β = Coeficiente de dilatación volumétrica del agua ($21 * 10^{-5}$) [34]
- V_i = Volumen inicial
- ΔT = Variación de temperatura

$$\Delta V = 21 * 10^{-5} * 100 * 10 = 0,21 \text{ L} \quad (8)$$

Entonces el volumen final que alcanzaría el mosto luego de dilatarse es de 100,21 litros, pero también es necesario conocer la altura que aumentará con esta dilatación.

$$\Delta L = \beta * L * \Delta T \quad (9)$$

Siendo:

- ΔL = Variación de Longitud
- β = Coeficiente de dilatación volumétrica del agua ($21 * 10^{-5}$) [34]
- L = Longitud inicial
- ΔT = Variación de temperatura

$$\Delta L = 21 * 10^{-5} * 0,6 * 10 = 1,26 * 10^{-3} \text{ m}=0,126\text{cm} \quad (10)$$

La altura necesaria para contener el mosto luego de la dilatación térmica es de 60,13 cm que en el caso real es mayor debido a que se consideró al agua en el cálculo y no al mosto de cebada, por lo que finalmente se va a optar por un factor de seguridad de un 20% que es el que utilizan en la empresa.

Tamaño del tanque

Al no existir limitantes de diseño en la relación diámetro/altura del tanque se puede tomar como referencia el criterio de E. Megyesy [35], que indica que en un recipiente sometido a una presión menor de 70 kg/cm^2 y que tenga tapas elipsoidales se puede calcular esta relación “F” con la ecuación (11).

$$F = \frac{P}{C * S * E} \quad (11)$$

Siendo:

- P : Presión de diseño (Valor de **Tabla 6**)

- C: Margen por corrosión (Indicado en **Figura 22**)
- S: Valor de esfuerzo del material (**Anexo A.**)
- E: Eficiencia de la junta (85% a 100%)

Equipment	Design Life	Carbon Steel Corrosion Allowance	CRA Corrosion Allowance
Large Pressure Vessels (Critical)	20 to 30 years	3.2 mm to 6.4 mm	0.8 mm to 1.6 mm
Small Pressure Vessels	10 years	3.2 mm	0.8 mm
Tanks	30 years	1.6 mm to 3.2 mm	0.8 mm to 1.6 mm
Heat Exchanger Shells	20 to 30 years	3.2 mm	0.8 mm to 1.6 mm
Exchanger Tubes:			
carbon steel	5 years	10 to 14 gauge	—
CRAs	10 years	—	16 to 20 gauge
Piping	20 years	1.6 mm to 3.2 mm	0.8 mm
Major Piping	20 years to 30 years	1.6 mm to 3.2 mm	0.8 mm to 1.6 mm
Production Tubing	5 years to 20 years	none	None
Subsea Completions	20 years to 30 years	none	none
Standard Completion Equipment	5 years to 20 years	none	none

Figura 22: Margen de corrosión según la vida útil del material

Fuente: [36]

Reemplazando datos se obtiene:

$$F = \frac{2.5 \text{ kg/cm}^2 * 14,2233}{0.063 \text{ in} * 1406,14 \text{ kg/cm}^2 * 0.85} = 0.033 \quad (12)$$

Con el valor obtenido en la ecuación (12) procedemos a encontrar el diámetro en la **Figura 23.**

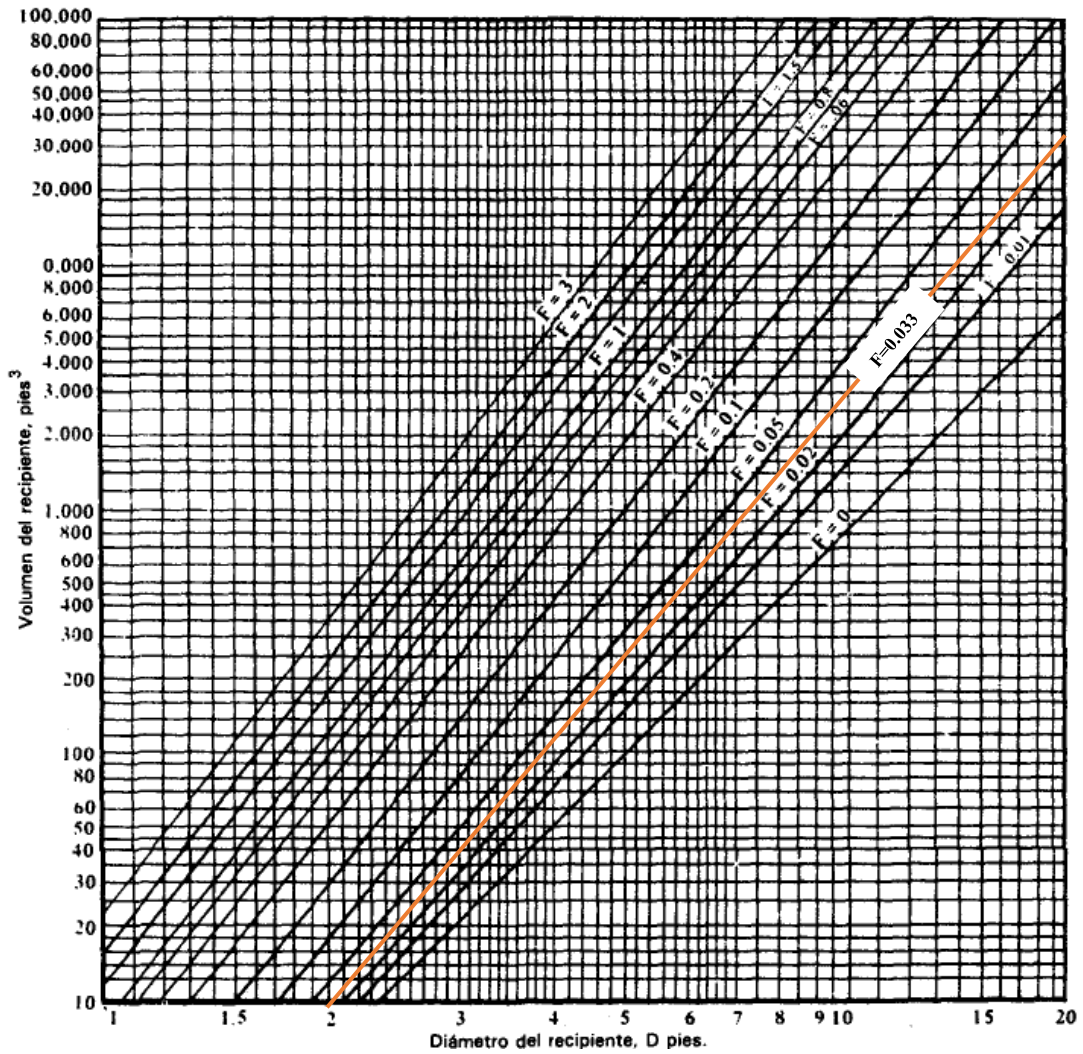


Figura 23: Gráfica para determinar el diámetro óptimo del recipiente

Fuente: [35]

Como el volumen del tanque no aparece en la escala y excede por mucho el volumen de diseño de 12000 cm³ L (4.24 pie³) se optó por realizar una extrapolación para encontrar el valor óptimo de diámetro.

$$Y_3 = Y_1 + \frac{(X_3 - X_1) * (Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (13)$$

$$Y_3 = 2.01 + \frac{(4.24 - 10) * (2.18 - 2.01)}{(12 - 10)} = 1.52 \quad (14)$$

Tabla 12: Datos de extrapolación

Variable	X	Y
Puntos conocidos		
Punto 1	10	2.01
Punto 2	12	2.18
Punto a calcular		
Punto 3	4.24	1.52

Fuente: Autor

Se obtiene un valor de diámetro interno de 1.52 pies que equivale a 46 cm.

Para obtener la altura del envolvente procedemos al cálculo mediante la fórmula de volumen de un cilindro despejando la altura.

$$h = \frac{4 * V}{\pi * D_i^2} \quad (15)$$

Siendo:

- V: Volumen de diseño
- D_i : Diámetro interno del cilindro

Reemplazando datos se obtiene:

$$h = \frac{4 * 0.12m^3}{\pi * (0.46m)^2} = 72 \text{ cm} \quad (16)$$

La altura y diámetro calculados corresponden a las dimensiones del envolvente, el cual es la parte del tanque fermentador que tiene el área mayor de contacto con el agua de las chaquetas, por lo que serán consideradas para los siguientes cálculos.

Cálculo de espesores del fermentador

Para realizar los cálculos de los espesores de la tapa el envolvente y el cono se utilizará las especificaciones descritas en el código ASME.

Cálculo de espesor de la tapa

Se realizará el cálculo de acuerdo con las fórmulas del código ASME Apéndice Obligatorio 1 para el diseño de tapas bajo presión interna, eligiendo la tapa de tipo torisférica indicado en la **Figura 24**.

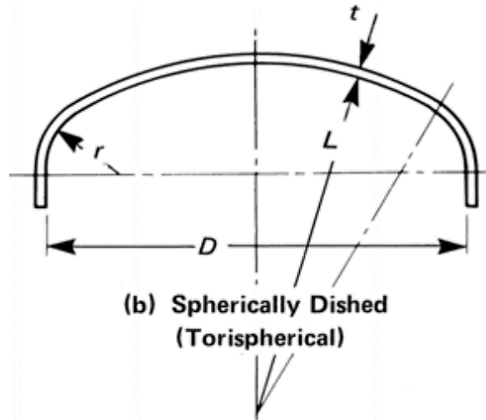


Figura 24: Tapa tipo torisférica (ASME VIII 1, Apéndice Obligatorio 1)

Fuente: [30]

$$t = \frac{P * L * M}{2 * S * E - 0.2 * P} + \text{Espesor} \quad (17)$$

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right) \quad (18)$$

Siendo:

- t: Espesor mínimo requerido de la tapa después del formado
- P: Presión de diseño
- L: Radio interior de la tapa con forma torisférica, igual a Di
- M: factor de tapas de plato esférico según la proporción L/r
- r: Radio interior de la tapa ($\geq 0.1 * L$)
- S: Esfuerzo máximo permisible
- E: Eficiencia de la junta (entre 85% a 100%)

Reemplazando los datos en la ecuación (18) obtenemos:

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{460}{46}} \right) = 1.5406 \quad (19)$$

Reemplazamos los valores en la ecuación (17) para obtener el espesor de la tapa:

$$t = \frac{4.609 * 46 * 1.5406}{2 * 1406.14 * 0.85 - 0.2 * 4.609} + 0.16 = 0.2967 \text{cm} \quad (20)$$

Por lo tanto, se va a optar por el espesor comercial utilizado en estos tanques que es de 3 mm.

Cálculo de la presión externa en vacío (ASME VIII 1 UG-33)

$$A = \frac{0.125}{(R_o/t)} \quad (21)$$

Siendo:

- A: Factor usado para ingresar el material aplicable en la **Figura 25**.
- R_o : Radio exterior de la porción de la corona de la tapa
- t: Espesor mínimo de la tapa después del formado (mm)

Reemplazando los datos en la ecuación (21) se obtiene:

$$A = \frac{0.125}{(463/3)} = 0.00081 \quad (22)$$

Con el resultado del factor A de la ecuación (22) obtenemos el valor del factor B en la **Figura 25**

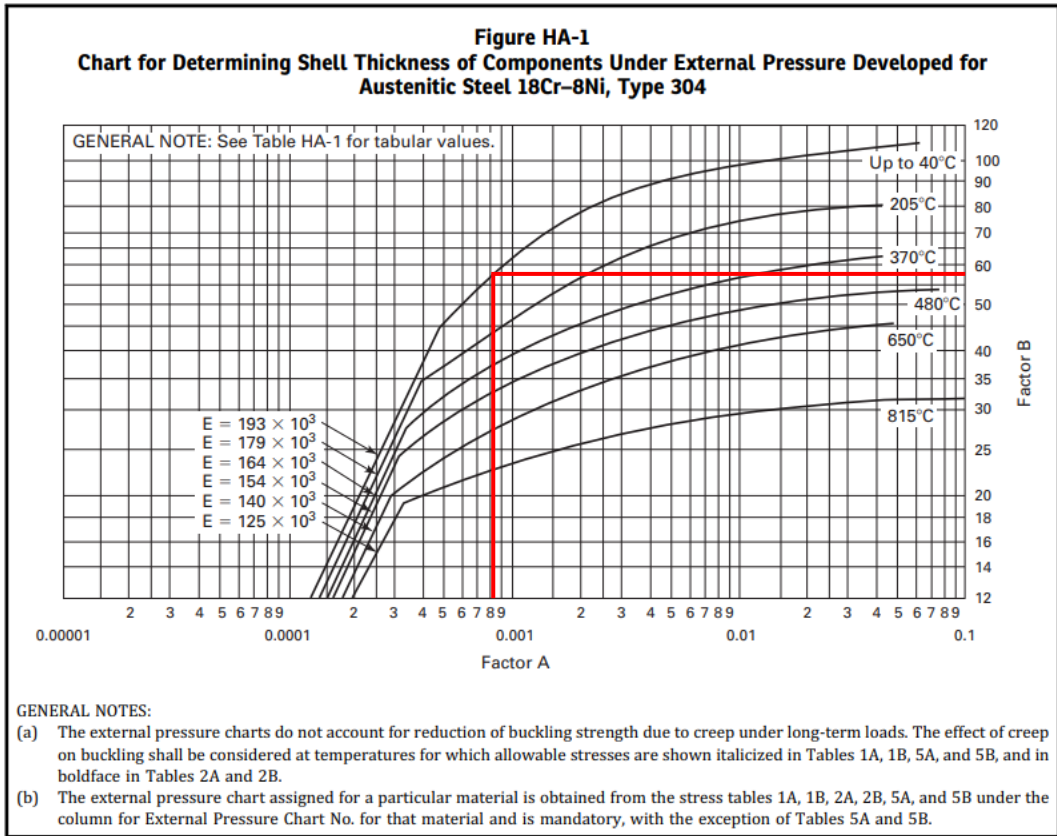


Figura 25: Tabla para determinar el espesor de componentes bajo presión externa

Fuente: [37]

$$B = 58 \text{ MPa} = 591.4376 \text{ kg/cm}^2 \quad (23)$$

Remplazando el valor de la ecuación (23) en la ecuación (24) para obtener P_a .

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} \quad (24)$$

Siendo:

- P_a : Valor máximo permisible de presión externa del espesor t

Reemplazando valores en la ecuación (24) se obtiene:

$$P_a = \frac{591.4376 \text{ kg/cm}^2}{(46.3/0.3)} = 3.83 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (25)$$

Con el valor encontrado en la ecuación (25), que es mayor que la presión atmosférica (1.05 kg/cm²) comprobamos que el espesor de 3 mm puede soportar el vacío.

Cálculo de la presión interna máxima permitida (Apéndice 1-4 d)

$$P_m = \frac{2 * S * E * t}{L * M + 0.2 * t} - P_h \quad (26)$$

Siendo:

- P_m : Presión interna máxima
- P_h : Presión hidrostática (La tapa no presenta esta presión)

Reemplazando los valores en la ecuación (26) se obtiene:

$$P_m = \frac{2 * 1406.14 * 0.85 * 0.3}{46 * 1.5406 + 0.2 * 0.3} - 0 = 10.111 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (27)$$

Cálculo del espesor del envoltente

Debido a que el envoltente está en contacto con el líquido (mosto), se debe de tener en cuenta la presión hidrostática del fluido, además se va a usar los valores de altura calculado en la ecuación (16) y el diámetro de 46 cm. La presión hidrostática se puede determinar con la fórmula (28).

$$P_h = \rho * g * h \quad (28)$$

Siendo:

- ρ : Densidad del fluido (kg/cm³)
- g : Gravedad (cm/s²)
- h : Profundidad (m)

Reemplazando valores se obtiene:

$$P_h = 1050 \text{ kg/m}^3 * 981/100 \text{ m/s}^2 * 72 \text{ cm} = 0.076 \text{ kg/cm}^2 \quad (29)$$

Para obtener la presión a la que está sometida el envolvente se suma la presión de diseño (6) con la presión hidrostática (29).

$$P = 4.609 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.076 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4.685 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (30)$$

Espesor de corazas bajo presión interna (ASME VIII 1, UG-27)

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} + \text{Corrosión} \quad (31)$$

Siendo:

- t: Espesor mínimo requerido del envolvente
- P: Presión de diseño
- R: Radio interior del envolvente
- S: Esfuerzo máximo permisible
- E: Eficiencia de la junta (entre 85% a 100%)

Reemplazamos los valores en la ecuación (32):

$$t = \frac{4.685 * 23}{1406.14 * 0.85 - 0.6 * 4.685} + 0.16 = 0.25 \text{ cm} \quad (32)$$

Como se obtiene un valor de 2.5 mm se opta por el valor comercial de 3 mm.

Cálculo de la presión externa en el vacío (ASME VIII 1, UG-28)

Se procede a hallar los valores de la ecuación (33) y la ecuación (34) para hallar el factor A en la **Figura 26**:

$$\frac{L}{D_o} = \frac{0.72}{0.466} = 1.55 \quad (33)$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{0.466}{0.003} = 155.33 \quad (34)$$

Siendo:

- D_o : Diámetro exterior del envoltente
- L : Longitud total del envoltente
- t : Espesor de la pared del envoltente

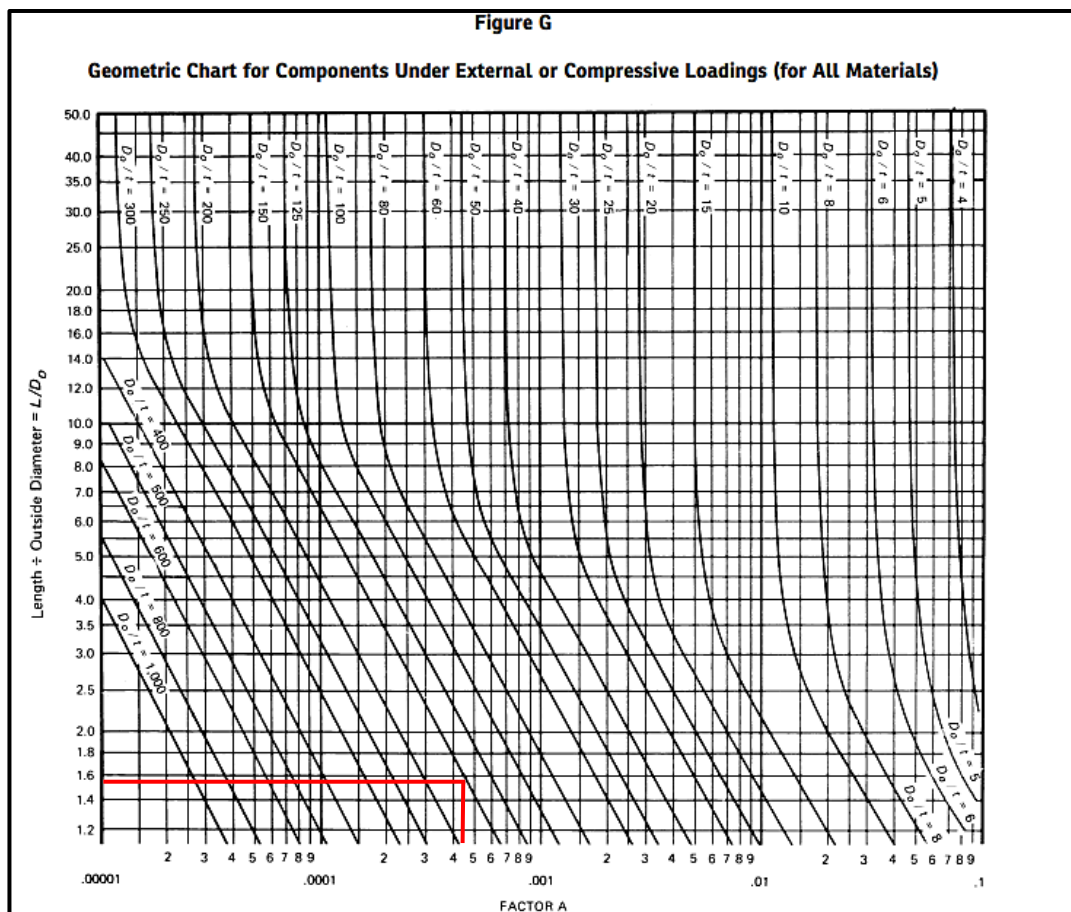


Figura 26: Tabla para determinar el espesor de corzas bajo presión externa

Fuente: [37]

Se obtiene un valor de factor A de:

$$A = 0.00044$$

(35)

Con este valor encontramos el factor B en la **Figura 27**:

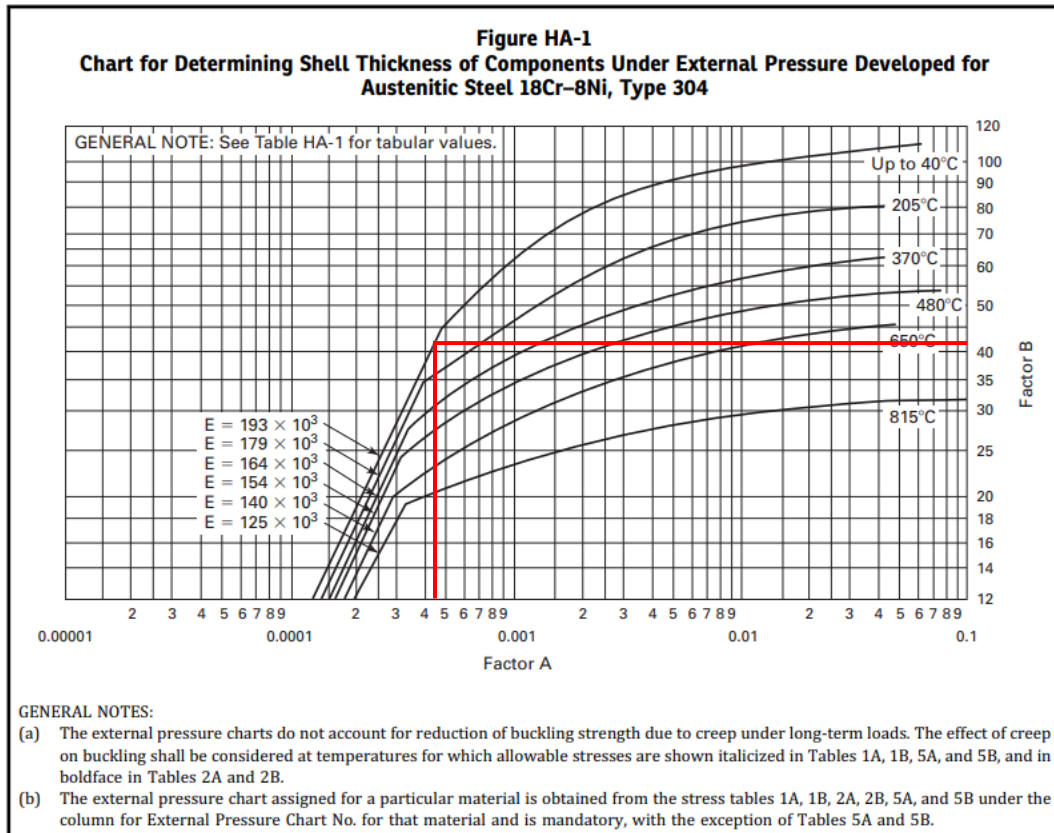


Figura 27: Tabla para determinar el espesor de componentes bajo presión externa

Fuente: [37]

Se obtiene un valor de factor B de:

$$B = 42 \text{ MPa} = 428.28 \text{ kg/cm}^2$$

(36)

Reemplazamos el factor B de la ecuación (36) en la ecuación (37) para calcular la presión externa admisible:

$$P_a = \frac{4 * B}{3 * (D_o/t)} = \frac{4 * 428.28 \text{ kg/cm}^2}{3 * (46.6/0.3)} = 3.68 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (37)$$

Con el valor encontrado en la ecuación (37), que es mayor que la presión atmosférica (1.05 kg/cm²) comprobamos que el espesor de 3 mm puede soportar el vacío.

Cálculo de la presión interna máxima permitida (ASME VIII 1, UG-27)

$$P_m = \frac{S * E * t}{R + 0.6 * t} - P_h \quad (38)$$

Reemplazando valores en la ecuación (38):

$$P_m = \frac{1406.14 * 0.85 * 0.3}{23 + 0.6 * 0.3} - 0.076 = 15.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (39)$$

Cálculo del espesor del cono

De acuerdo con el código ASME VIII, UG-33 en la sección f (tapas cónicas y secciones), nos indica que cuando la unión del cono al cilindro no es una línea de soporte, el espesor requerido no debe ser menor que el espesor de la coraza cilíndrica adyacente. Por lo tanto, el espesor del cono toma el mismo valor de la ecuación (32), optando por el valor comercial de 3mm.

Dimensionamiento geométrico del cono

Utilizando las medidas conocidas de diámetro y espesor del envolvente, las medidas del tubo de acero inoxidable que conectará con las bocas del fermentador y seleccionando un ángulo de inclinación de 60°, se puede determinar la altura del cono por geometría. Mediante el software Solidworks se obtiene los datos necesarios para realizar los cálculos en la ecuación (40) y se indican en la **Tabla 13**.

Tabla 13: Dimensiones del cono del fermentador

DENOMINACIÓN	DIMENSIÓN	UNIDAD
D_L	23,3	cm
D_S	3,0165	cm
L	34,612	cm
α	30	°

Fuente: Autor

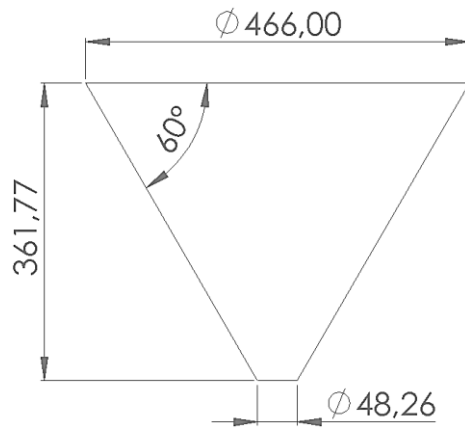


Figura 28: Geometría del cono del fermentador

Fuente: Autor

Cálculo de la presión externa en vacío (ASME VIII 1 UG-33)

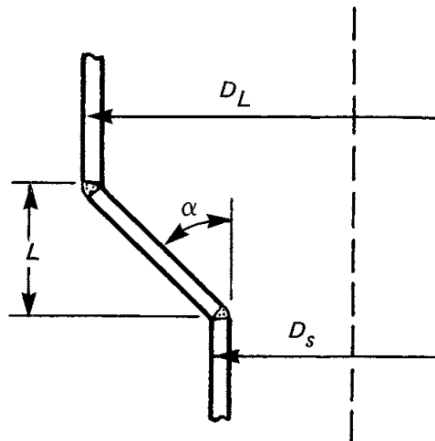


Figura 29: Sección cónica a presión externa (ASME VIII 1)

Fuente: [30]

$$L_e = \left(\frac{L_c}{2}\right) \left(1 + \frac{D_s}{D_L}\right) \quad (40)$$

Siendo:

- L_e : Longitud equivalente de la sección cónica entre líneas de soporte
- L_c : Longitud axial de la sección cónica
- D_L : Diámetro exterior del extremo ancho del cono
- D_s : Diámetro exterior del extremo angosto del cono

Reemplazando los valores en la ecuación (40):

$$L_e = \left(\frac{361.77}{2}\right) \left(1 + \frac{24.13}{233}\right) = 19,962 \text{ cm} \quad (41)$$

Con las ecuaciones (42), (43) y (44) se halla el factor A (45) y el factor B (46) en la **Figura 30** necesarios para determinar las presiones del cono.

$$t_e = t * \cos \alpha = 3 * \cos(30) = 0,2598 \text{ cm} \quad (42)$$

$$\frac{L_e}{D_o} = \frac{199.62}{460} = 0.434 \quad (43)$$

$$\frac{D_o}{t_e} = \frac{460}{2.598} = 177.05 \quad (44)$$

Siendo:

- t_e : Espesor efectivo del cono
- D_o : Diámetro interior del cono

$$A = 0.0014 \quad (45)$$

$$B = 71 \text{ MPa} = 724 \text{ kg/cm}^2 \quad (46)$$

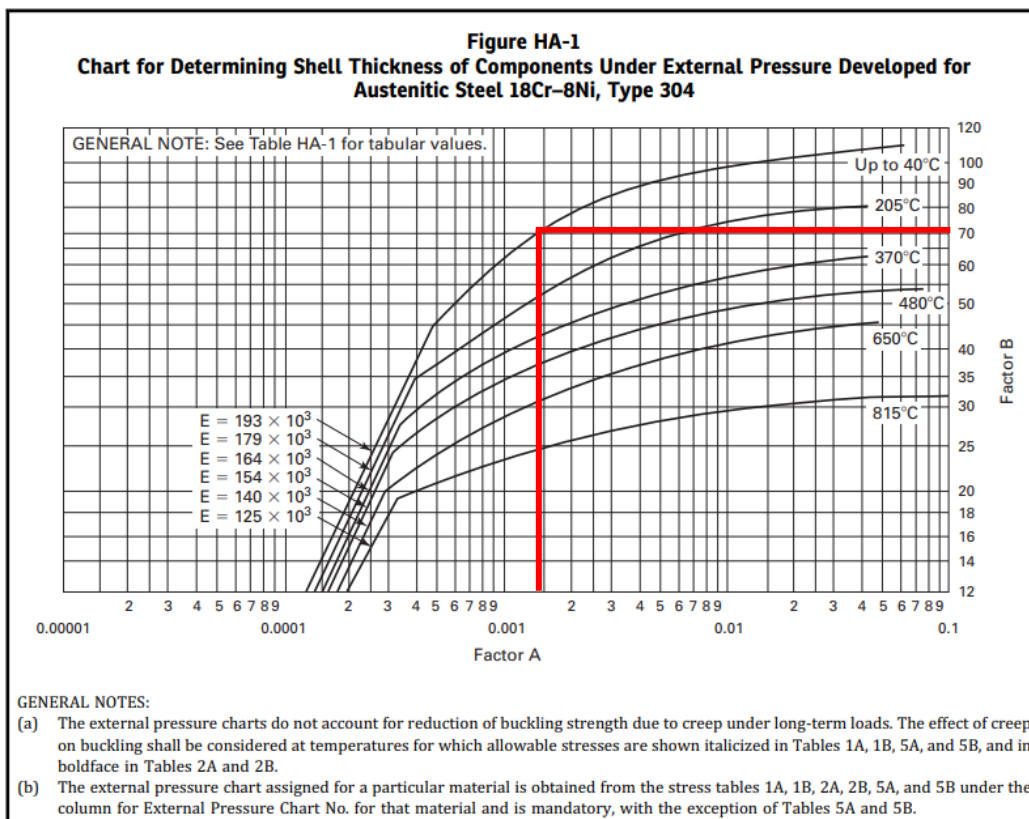
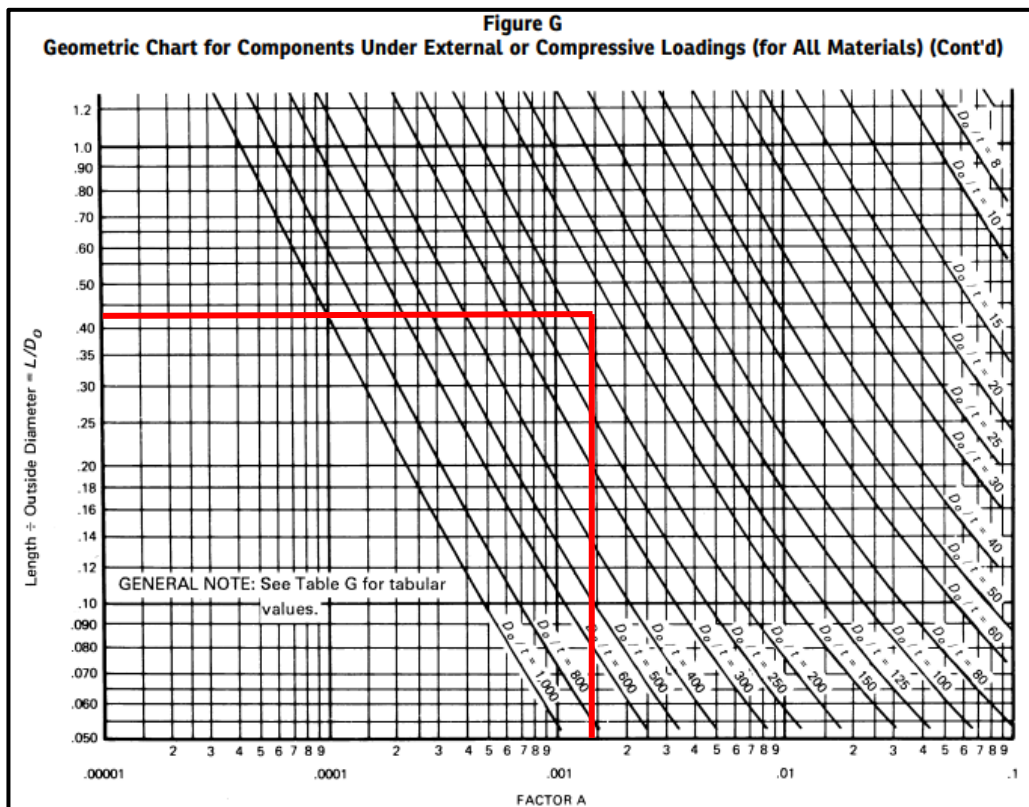


Figura 30: Espesor según el factor A y B en componentes bajo presión externa

Fuente: [37]

Reemplazamos el factor B de la ecuación (45) en la ecuación (47) para calcular la presión externa admisible:

$$P_a = \frac{B}{(R_o/t)} = \frac{724 \text{ kg/cm}^2}{(46.3/0.3)} = 4.69 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (47)$$

Con el valor encontrado en la ecuación (47), que es mayor que la presión atmosférica (1.05 kg/cm²) comprobamos que el espesor de 3 mm puede soportar el vacío.

Cálculo de la presión interna máxima permitida (ASME VIII 1, UG-27)

$$P_m = \frac{S * E * t}{L_m + 0.6 * t} - P_h \quad (48)$$

Reemplazando valores en la ecuación (48):

$$P_h = \rho * g * h \quad (49)$$

$$P_h = 1050 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 * 0.36 \text{ m} = 3726.41 \text{ Pa} \approx 0.037 \text{ kg/cm}^2 \quad (50)$$

$$L_m = \frac{D_i}{2 * \cos \alpha} = \frac{460}{2 * \cos (30)} = 2,656 \text{ cm} \quad (51)$$

$$P_m = \frac{1406.14 * 0.85 * 0.3}{2,656 + 0.6 * 0.3} - 0.037 = 13.37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (52)$$

Se procede a verificar la presión interna máxima permitida utilizando la presión hidrostática de todo el mosto del fermentador.

$$P_h = \rho * g * h \quad (53)$$

$$P_h = 1050 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 * 1.08 \text{ m} = 11124.54 \text{ Pa} \approx 0.11 \text{ kg/cm}^2 \quad (54)$$

$$P_m = \frac{1406.14 * 0.85 * 0.3}{26.56 + 0.6 * 0.3} - 0.11 = 13.30 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (55)$$

Presión interna máxima de trabajo

La presión máxima de trabajo a la que estará sometido el fermentador se encontró en la ecuación (27).

$$P_{mt} = 10.111 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (56)$$

La presión interna máxima permitida es superior a la presión interna máxima de trabajo al que se someterá el fermentador.

b. Diseño de la chaqueta de hoyuelos

La chaqueta se debe colocar en la parte del tanque que tenga la mayor superficie expuesta a la temperatura generada por el mosto, en este caso es el envolvente. Además, no se considera colocar la chaqueta en la tapa o en el cono porque la cantidad de transferencia de calor que suceda en estas superficies no justifica la inversión. Se utilizará una plancha de acero inoxidable AISI 304 para evitar el deterioro por el contacto con el agua. Se utilizará los valores considerados en [1], con un espesor de la plancha de la chaqueta de 2 mm de espesor y una separación entre la chaqueta y el envolvente de 0.25 pulgadas (6.35 mm).

Para determinar el tamaño de la plancha de la chaqueta se procede a determinar las medidas de la plancha de acero inoxidable que conforma el cilindro del envolvente.

$$\text{Ancho}_{\text{Plancha envolvente}} = 2 * \pi * r = 2 * \pi * 23 \text{ cm} = 144,5 \text{ cm} \quad (57)$$

Para determinar el área de la plancha de la chaqueta se multiplica un valor inferior al de la altura del envolvente con el valor obtenido en la ecuación (57).

$$\text{Área}_{\text{plancha envolvente}} = 144,5 \text{ cm} * 62 \text{ cm} = 8959 \text{ cm}^2 \quad (58)$$

Esta es el área de la plancha que estará en contacto con el envolvente pero se debe de restar el área de los hoyuelos en donde se soldarán ambos elementos de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Diámetro de hoyuelos: 2,5 cm
- Número de agujeros: 240

$$\text{Área}_{\text{hoyuelos}} = \frac{\pi * (2,5 \text{ cm})^2}{4} * 240 = 1178,1 \text{ cm}^2 \quad (59)$$

El área calculada en la ecuación (59) se debe restar del área de la plancha del envolvente, calculado en la ecuación (58) para obtener el área de contacto del agua con el envolvente.

$$\text{Área}_{\text{contacto}} = 8959 \text{ cm}^2 - 1178,1 \text{ cm}^2 = 8947,1 \text{ cm}^2 \quad (60)$$

c. Dimensionamiento de los soportes

Los soportes que se utilizarán son de tipo columna tubular sin arriostrar debido a que el tamaño del tanque no lo requiere. Además, según [38] se debe de utilizar 3 piernas para recipientes que no superen los 91,4 cm y no es necesaria una placa de refuerzo entre el envolvente y los soportes. Se utilizarán tubos de acero inoxidable AISI 316 de 2 pulgadas con un espesor igual al del cuerpo como mínimo.

Según el código ASME la altura de los soportes y el diámetro se debe considerar de acuerdo con la capacidad en galones del tanque, pero se considerará en este caso el uso artesanal del fermentador y su altura no deberá de sobrepasar el alto de una habitación. Por este motivo se utilizará soportes con una altura de 90 centímetros de longitud.

3.1.4. Análisis de la corrosión galvánica en la soldadura

En la unión por soldadura de acero al carbono ASTM A36 del que está hecha la jaula y el acero inoxidable AISI 304 que es el material de la chaqueta, se puede producir corrosión galvánica debido a la diferencia en su composición química. El acero al carbono ASTM A36 es un acero al carbono con una cantidad relativamente baja de cromo, mientras que el acero inoxidable AISI 304 es un acero inoxidable austenítico que dentro de su composición contiene cromo y níquel.

En una unión por soldadura entre estos dos metales, el 304 actuará como el cátodo y el A36 actuará como el ánodo. Esto significa que el acero al carbono se corroerá más rápidamente que el acero inoxidable. Esta corrosión galvánica puede ser especialmente problemática en ambientes corrosivos, como en presencia de agua salada o ácidos.

Para prevenir la corrosión galvánica en la unión por soldadura, se pueden tomar varias medidas preventivas. Algunas de estas medidas pueden incluir:

- Utilizar metales similares en la unión por soldadura para minimizar la diferencia en el potencial electroquímico.
- Utilizar un material de relleno compatible para la soldadura, como un electrodo de soldadura de acero inoxidable.
- Aplicar una capa protectora en la superficie del acero al carbono, como una capa de pintura o un revestimiento protector.

Es recomendable utilizar un material de relleno de soldadura que tenga una composición química similar al acero inoxidable AISI 304. Esto minimizará la diferencia en el potencial electroquímico entre los dos metales y reducirá el riesgo de corrosión galvánica en la unión soldada.

En particular, los electrodos de soldadura recomendados para la soldadura de acero inoxidable AISI 304 incluyen el AWS A5.4 E308L-16 y el AWS A5.4 E309L-16. El E308L es adecuado para soldar aceros inoxidables tipo 301, 302, 304, 304L y 308L, mientras que el E309L es adecuado para soldar aceros inoxidables tipo 309 y 309L, así como aceros al carbono de bajo contenido de carbono. Es importante tener en cuenta que la selección del electrodo de soldadura también debe tener en cuenta otros factores, como la aplicación específica y las condiciones ambientales [38].

3.1.5. Transferencia de calor

La superficie exterior del tanque estará expuesta al aire del ambiente a unos 15 °C cuya capacidad de enfriamiento no será suficiente para conservar la temperatura óptima del mosto en el interior del fermentador, por lo que se utilizará un sistema que permita mantener un rango entre 15 °C y 25 °C, temperatura necesaria para la correcta fermentación según el estilo de cerveza deseado. La chaqueta inflada con agua fría evitará que se exceda la temperatura óptima mientras que el aislamiento evitará una transferencia de calor notable con el ambiente. El agua será enfriada en un tanque a una temperatura de 5 °C y alcanzaría los 25 °C dentro de la chaqueta antes de recircular por el sistema.

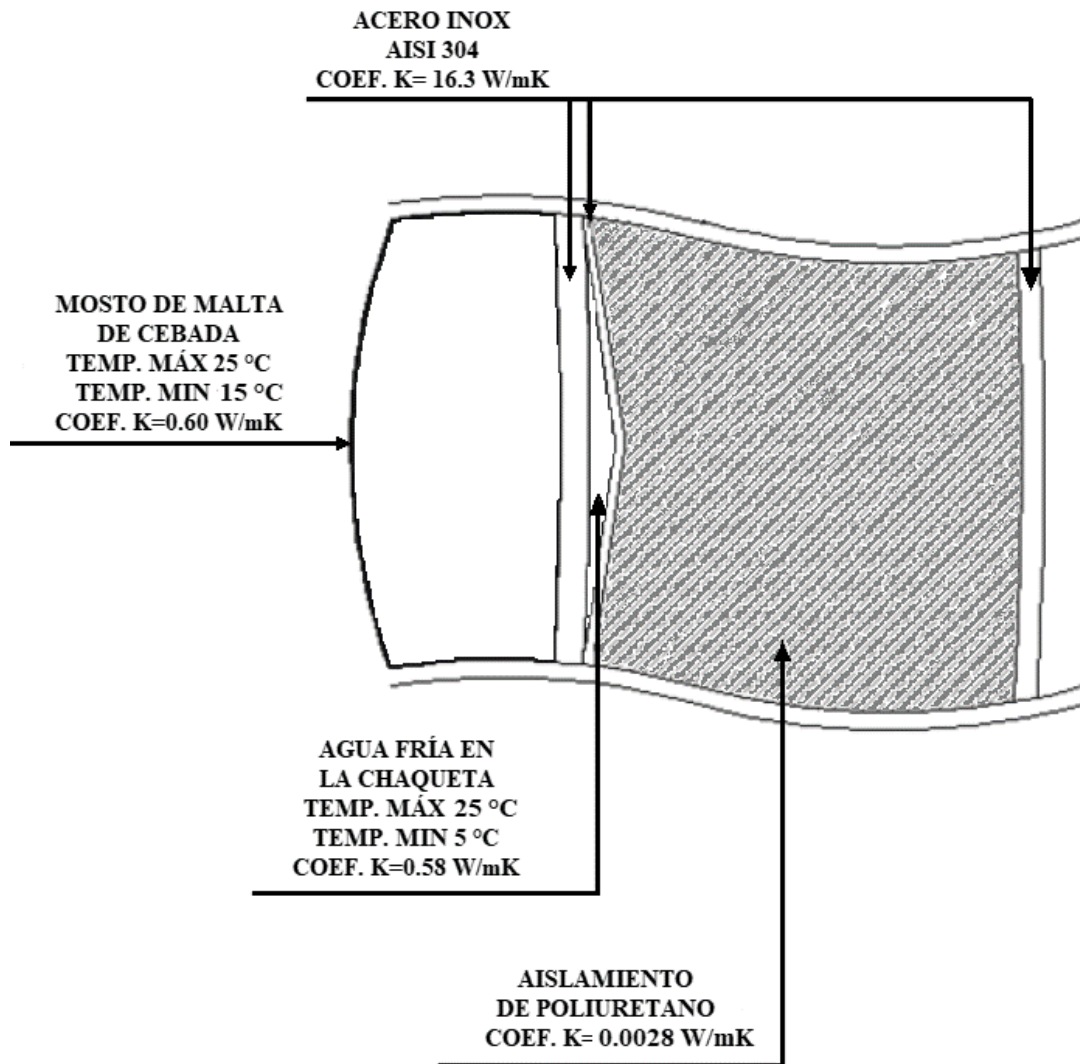


Figura 31: Esquema de una sección del fermentador

Fuente: [1]

El material aislante es la espuma de poliuretano porque tiene una excelente eficiencia aislante a bajas temperaturas, es ligero, económico y de fácil instalación. Se utilizará un espesor de 2 pulgadas. Las propiedades y características de este material se indican en la **Tabla 9**.

Condiciones internas del tanque fermentador

La chaqueta se llenará de agua fría a una temperatura de 5 °C, la cual está en contacto con el envoltorio por lo que existe transferencia de calor por conducción. Además, existe convección entre la pared del envoltorio y el mosto. El agua a su vez recibe calor desde el ambiente a través de la espuma de poliuretano, la cual por sus propiedades aislantes evitará en gran medida la conducción de calor hacia y desde la cubierta.

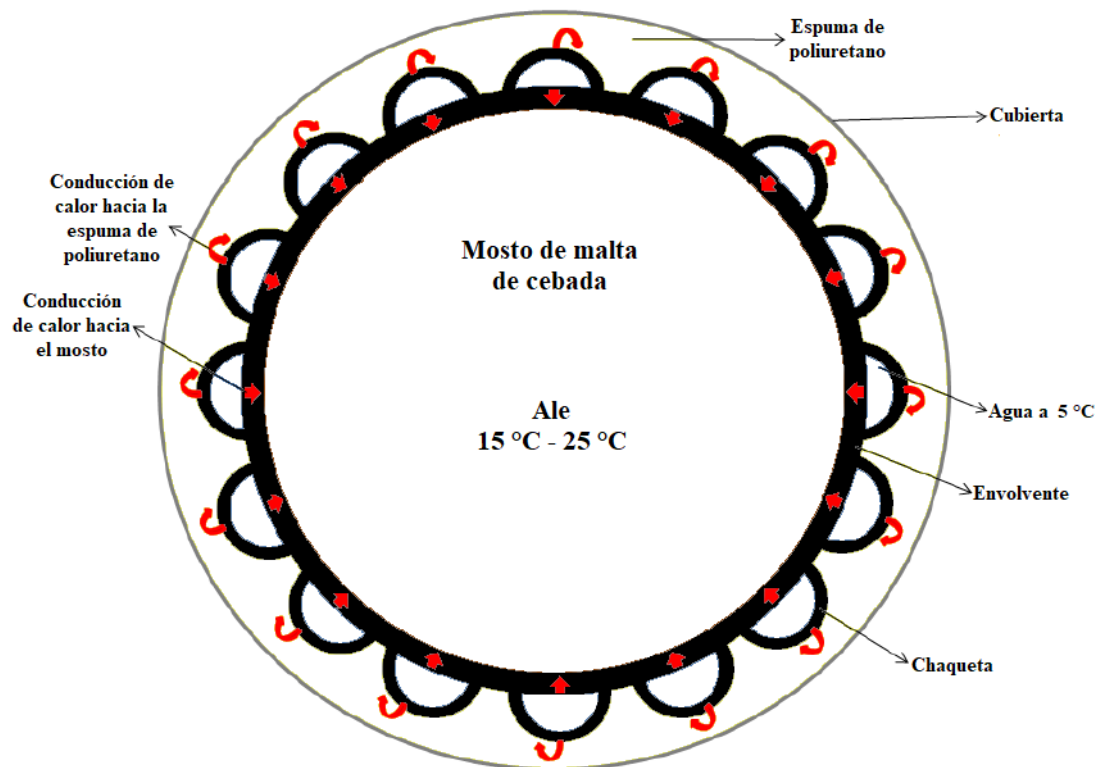


Figura 32: Condiciones internas del tanque desde una vista superior

Fuente: [1]

Cálculo del coeficiente h convectivo del aire

El coeficiente de transferencia de calor por convección puede obtenerse mediante tablas que indican algunos valores típicos de h para diferentes configuraciones, pero como los rangos son muy grandes y dependen de las condiciones específicas en las que se encuentre el sistema es necesario realizar cálculos para encontrar este coeficiente.

Tabla 14: Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Proceso	h (w/m ² * K)
Convección libre	
Gases	2 – 25
Líquidos	50 – 1000
Convección forzada	
Gases	25 – 250
Líquidos	50 – 20000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500 – 100000

Fuente: [39]

Para realizar el cálculo de este coeficiente se va a utilizar la ecuación de convección de Newton [39]:

$$\bar{h} = \frac{k * \overline{Nu}_D}{D} \quad (61)$$

Donde:

- k = conductividad térmica del fluido
- D = diámetro del cilindro
- \overline{Nu}_D = número de Nusselt

Existen varias formas de calcular el número de Nusselt, pero una forma común es utilizando ecuaciones empíricas, las cuales están basadas en experimentos y datos recolectados. Por ejemplo, para convección natural, la ecuación de Nusselt es:

$$Nu = \left(0,60 + \frac{0,387 * Ra^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 \quad (62)$$

Donde:

- Ra = número de Rayleigh
- Pr = número de Prandtl

Para una placa plana, el número de Rayleigh se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * D^3}{\nu * \alpha} \quad (63)$$

Donde:

- g = aceleración debida a la gravedad
- β = coeficiente de dilatación térmica del fluido
- T_s = temperatura de la superficie de la placa
- T_∞ = temperatura del ambiente
- D = diámetro del cilindro
- ν = viscosidad dinámica del fluido
- α = difusividad térmica del fluido

Además de considerar la temperatura de la superficie de la placa de 10 °C, la temperatura de frontera de 12,5 °C, se van a tomar en cuenta el diámetro del tanque

D y los siguientes datos para el aire a 285,65 °K interpolados del **Anexo B**.
Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica:

- $D = 0,5765 \text{ m}$
- $Pr = 0,7107$
- $k = 0,02515 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
- $\nu = 1,46 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$
- $\beta = 3,5 * 10^{-3} \text{K}^{-1}$
- $\alpha = 2,0605 * 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$

Con todos los datos y fórmulas se procede con el cálculo, obteniendo en primer lugar el número de Rayleigh reemplazando los datos en la ecuación **(63)**.

$$Ra = \frac{(9,81) * (3,5 * 10^{-3}) * (15 - 10) * 0,5765^3}{(1,46 * 10^{-5}) * 2,0605 * 10^{-5}} = 109264306 \quad (64)$$

Después se procede con el cálculo del número de Nusselt reemplazando los datos en la ecuación **(62)**.

$$Nu = \left(0,60 + \frac{0,387 * (109264306)^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{0,7107} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2 = 58,14 \quad (65)$$

Finalmente se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire reemplazando datos en la ecuación **(61)**:

$$h = \frac{0,02515 * 58,14}{0,5765} = 2,54 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \quad (66)$$

De acuerdo con la tabla **Tabla 14** el valor calculado está dentro del rango indicado para el coeficiente de transferencia de calor h para gases en convección libre, por lo que se tomará este valor para el análisis de la transferencia de calor en el sistema.

Análisis de la transferencia de calor en el sistema

Para poder entender la forma en se comporta la transferencia de calor se va a realizar los cálculos utilizando un sistema simplificado utilizando los datos de frontera críticos para conocer si el sistema de enfriamiento y aislamiento es suficiente para mantener el mosto a la temperatura deseada, además se va a simular el análisis térmico para comprobar si coinciden con las temperaturas obtenidas mediante los cálculos.

MOSTO	ACERO INOX. AISI 304	AGUA	ACERO INOX. AISI 304	AISLANTE DE POLIURETANO	ACERO INOX. AISI 304	AMBIENTE
$T^{\circ}\text{mosto}$		$T^{\circ}\text{agua}$				$T^{\circ}\text{ambiente}$
$k=0.60352 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$	$K=16,3$	$K=0,58$	$K=16,3$	$K=0,0028$	$K=16,3$	
	$d=7300 \text{ kg/m}^3$	$h=15,3$	$d=7300$	$d=40$	$d=7300$	$h=2,54 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$
	$e1=3\text{mm}$	$e2=8\text{mm}$	$e3=2\text{mm}$	$e4=50,8\text{mm}$	$e5=4\text{mm}$	
ENVOLVENTE	CHAQUETA		CUBIERTA			

Figura 33: Disposición y datos del sistema

Fuente: Autor

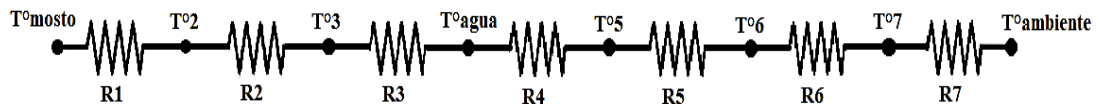


Figura 34: Esquema general de resistencias térmicas en el sistema

Fuente: Autor

Para resolver el sistema se van a tomar los datos críticos de las condiciones de frontera, siendo la temperatura del mosto la más alta recomendable para cervezas Ale, la temperatura del agua cuando apenas ingresa a la chaqueta desde el tanque de agua fría y la temperatura del aire que se encuentra en el ambiente.

- $T^{\circ}\text{mosto} = 25^{\circ} \text{ C}$
- $T^{\circ}\text{agua} = 5^{\circ} \text{ C}$

- $T^{\circ}_{\text{aire}} = 15^{\circ} \text{C}$

En primer lugar, se va a realizar el análisis despreciando el espesor de la chaqueta, la cubierta y sin tomar en cuenta el aislamiento para analizar la manera en que se la temperatura del ambiente afecta al agua y para determinar el calor que fluye por este sistema.

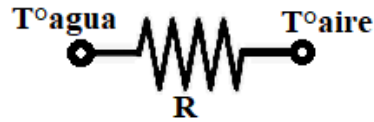


Figura 35: Esquema de resistencias despreciando el aislamiento

Fuente: Autor

$$A_1 = \pi * 0,486 * 0,61 = 0,931 \text{ m}^2 \quad (67)$$

$$R_{\text{eq}} = \frac{1}{h_R * A_1} = \frac{1}{2,54 * 0,931} = 0,423 \quad (68)$$

$$q_1 = \frac{\Delta T}{R_{\text{eq}}} = \frac{T^{\circ}_{\text{aire}} - T^{\circ}_{\text{agua}}}{R_{\text{eq}}} = \frac{(15 - 5)^{\circ}\text{C}}{0,423} = 23,66 \text{ W} \quad (69)$$

En el siguiente análisis se considera al aislamiento para observar que sucede con el flujo de calor con el sistema y como varía con el análisis anterior.

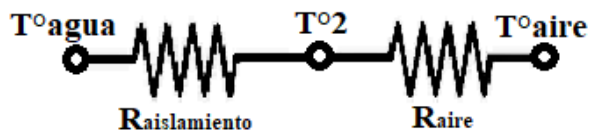


Figura 36: Esquema de resistencias con aislamiento

Fuente: Autor

$$A_2 = 2 * \pi * 0,61 = 3,83 \text{ m}^2 \quad (70)$$

$$A_3 = \pi * 0,5765 * 0,61 = 1,105 \text{ m}^2 \quad (71)$$

$$R_{eq} = \frac{e_{aislamiento}}{k_{Raislamiento} * A_2} + \frac{1}{h_{Raire} * A_3} = \frac{\ln\left(\frac{0,2808}{0,230}\right)}{0,0028 * 3,83} + \frac{1}{2,54 * 1,105} \quad (72)$$

$$= 18,95$$

$$q_2 = \frac{\Delta T}{R_{eq}} = \frac{T^{\circ}_{aire} - T^{\circ}_{agua}}{R_{eq}} = \frac{(15 - 5)^{\circ}\text{C}}{18,95} = 0,53 \text{ W} \quad (73)$$

Se puede observar que el calor del segundo análisis es mucho menor que el calor del primero, por lo que se concluye que el aislamiento absorbe una gran cantidad del calor del sistema.

Para el tercer análisis se toma en cuenta el enfriamiento del mosto por parte del agua utilizando el espesor del envolvente para calcular la resistencia equivalente.

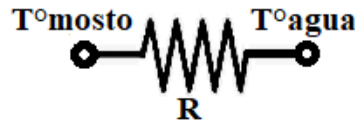


Figura 37: Esquema de resistencias entre el mosto y el agua

Fuente: Autor

$$A_4 = 2 * \pi * 0,61 = 3,83 \text{ m}^2 \quad (74)$$

$$R_{eq} = \frac{e_{envolvente}}{k_{Renvolvente} * A_4} = \frac{\ln\left(\frac{0,233}{0,230}\right)}{16,3 * 3,83} = 2,074 * 10^{-4} \quad (75)$$

$$q_3 = \frac{\Delta T}{R_{eq}} = \frac{T^{\circ}_{mosto} - T^{\circ}_{agua}}{R_{eq}} = \frac{(20 - 5)^{\circ}\text{C}}{2,074 * 10^{-4}} = 72312,31 \text{ W} \quad (76)$$

Al obtener el calor que fluye desde el mosto al agua de la chaqueta y conociendo el calor que fluye desde el aire hacia el agua, pasando por el aislamiento; se puede calcular el calor total que llega a la chaqueta.

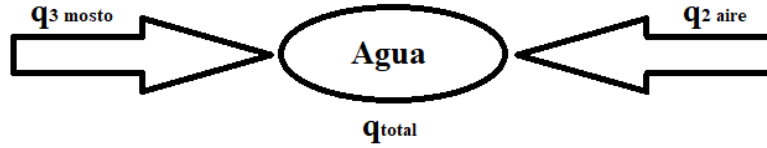


Figura 38: Sumatoria de calores

Fuente: Autor

$$q_{total} = q_3 + q_2 = 72312,31 + 0,53 = 72312,84 \text{ W} \quad (77)$$

Conociendo el calor total que fluye por el agua se puede encontrar la cantidad de masa de agua en relación con el tiempo que le toma enfriar al mosto.

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p * \Delta T} = \frac{72312,84}{4180 * 15} = 1,15 \frac{kg}{s} \quad (78)$$

En la **Figura 39** se puede observar la forma en la que el flujo de calor se comporta en el sistema y la manera en que va a interactuar las temperaturas del mosto y del aire que proviene del ambiente con el agua en la chaqueta.

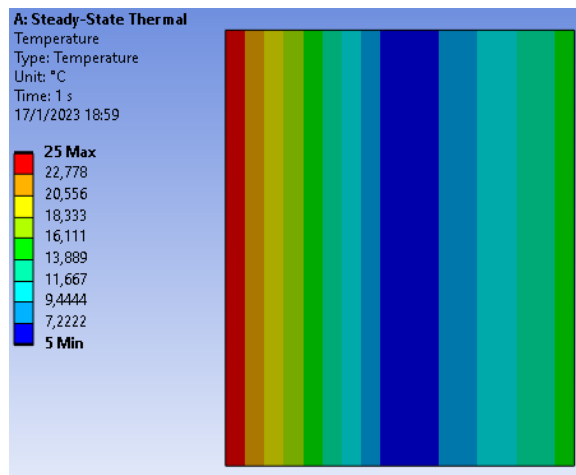


Figura 39: Comportamiento del flujo de calor en el sistema mosto - agua – aire

Fuente: Autor

3.1.6. Sistema de control del fermentador

El sistema de control se realizó en el software Cx-One de Omron, diseñando las pantallas con las que interaccionará el usuario en el Cx-Designer y la programación en lenguaje Ladder en el Cx-Programmer.

La programación se hizo en varias secciones para facilitar la implementación de las instrucciones, como se puede observar en la **Figura 40**.

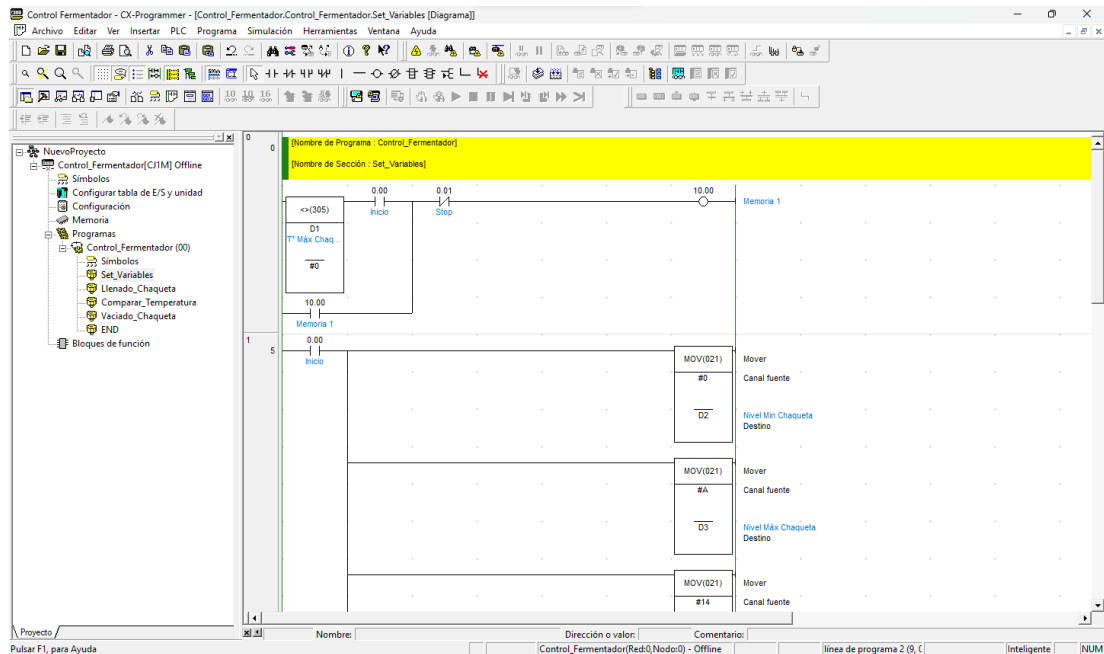


Figura 40: Programación escalera en Cx-Programmer

Fuente: Autor

El programa consiste en la simulación del sistema de control de temperatura y los datos que se pueden ingresar por el usuario son tres, el primero es la temperatura del mosto que ingresa al fermentador proveniente del proceso de enfriamiento necesario para poder inocular la levadura sin causarle daños, el segundo es la temperatura mínima a la que se desea fermentar y el tercero es la temperatura máxima de fermentación. En la pantalla de inicio se indican los rangos recomendados para realizar cervezas de tipo Ale junto a cada dato.

El programa está diseñado para controlar dos bombas y dos electroválvulas para que permitan la circulación del agua fría desde un tanque de almacenamiento hasta la

chaqueta y viceversa. Dos sensores de nivel que indiquen cuando la chaqueta está vacía y cuando está llena de agua. Un sensor de temperatura necesario para conocer la temperatura a la que se encuentra el mosto en todo momento. También se necesita un PLC y un display de la marca Omron debido a que la programación y el diseño de las pantallas fue realizada en el software de la compañía, aunque los entornos de programación de las distintas marcas son similares y se puede replicar con facilidad, además, en ciertas pantallas es necesario realizar el diseño de acuerdo con el tamaño de la diagonal para que quede bien posicionado. La programación en lenguaje Ladder completa de este sistema se puede encontrar en el **Anexo C**. Programación del sistema de control utilizando lenguaje Ladder en Cx-programmer.

Se diseñó dos pantallas para que el usuario pueda interactuar con el programa. En la primera (**Figura 41**) se puede observar información en general, la fecha y hora actual, se permite el ingreso de los datos de temperatura de mosto y fermentación. En la segunda se puede iniciar y detener el programa, visualizar el proceso de enfriamiento, la temperatura del mosto y el estado de nivel de agua en la chaqueta para que el usuario pueda conocer en todo momento el funcionamiento el sistema (**Figura 42**).

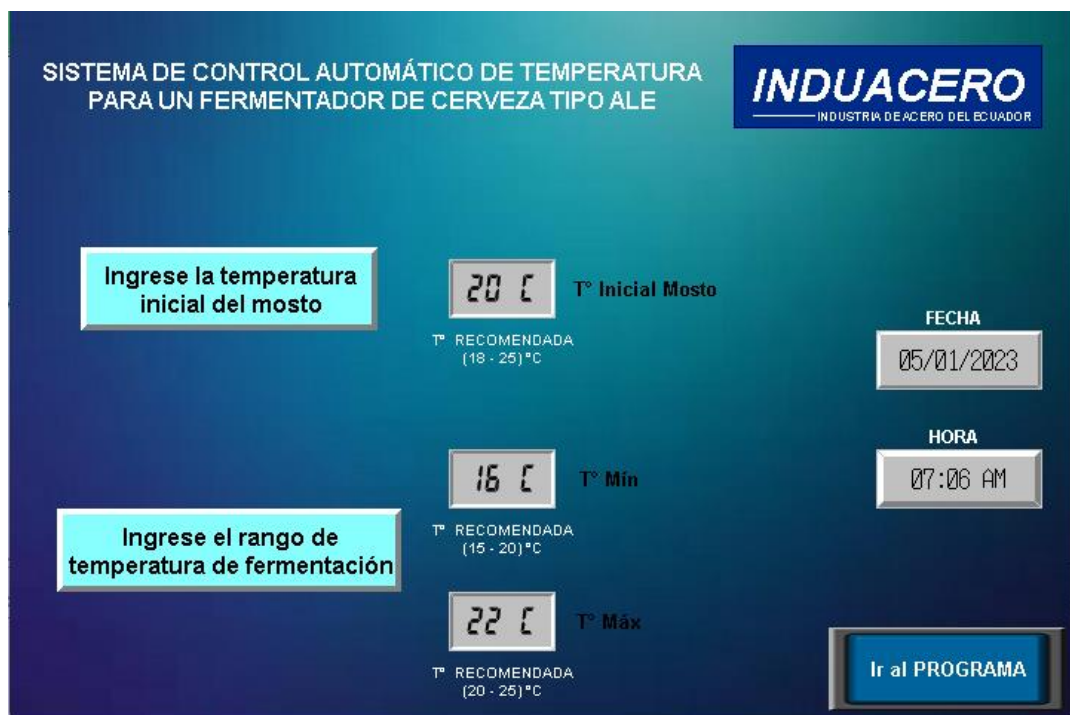


Figura 41: Pantalla de información e ingreso de temperaturas

Fuente: Autor

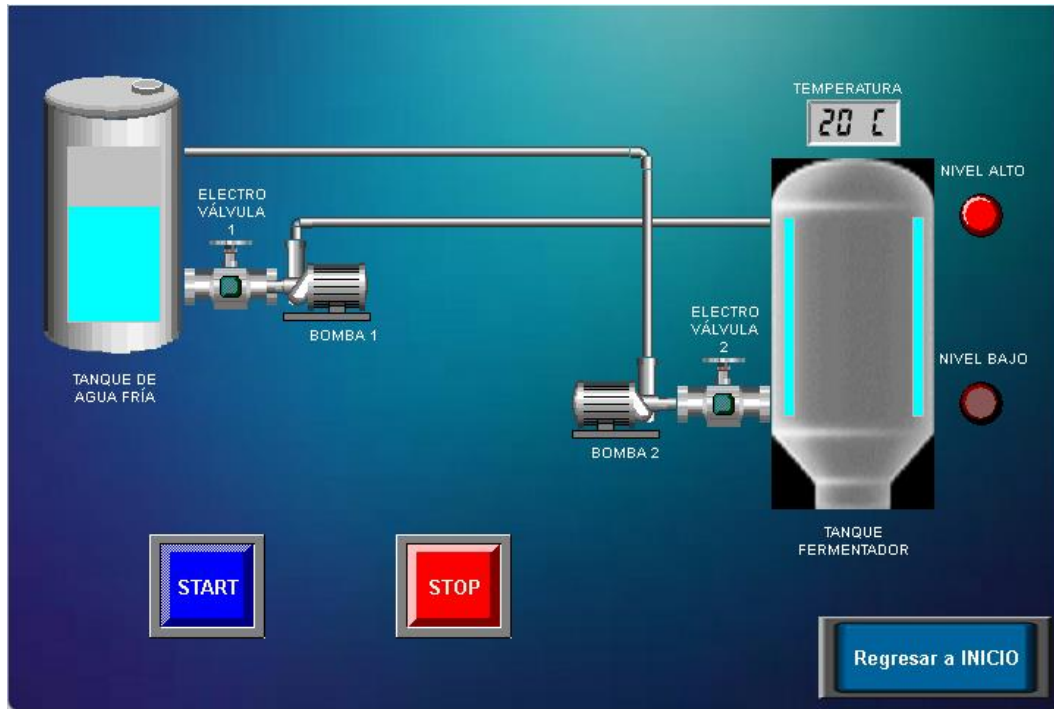


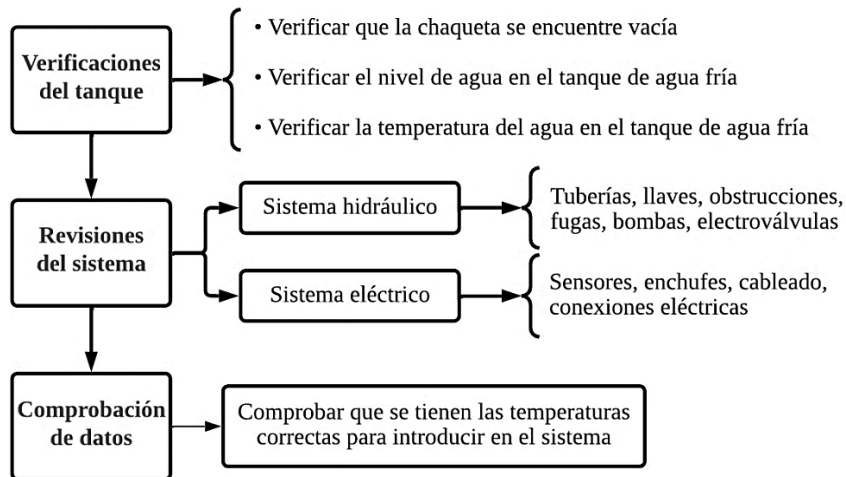
Figura 42: Pantalla del funcionamiento del sistema de control

Fuente: Autor

3.1.7. Recomendaciones de operación y mantenimiento

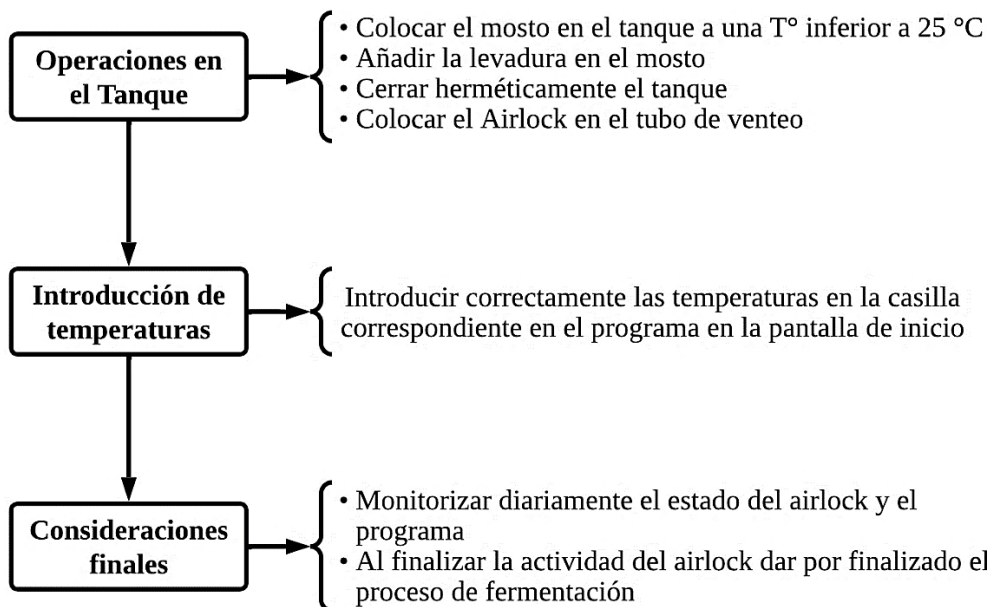
Arranque del sistema de control

Antes de iniciar con la activación del programa se debe tener en cuenta las siguientes verificaciones:



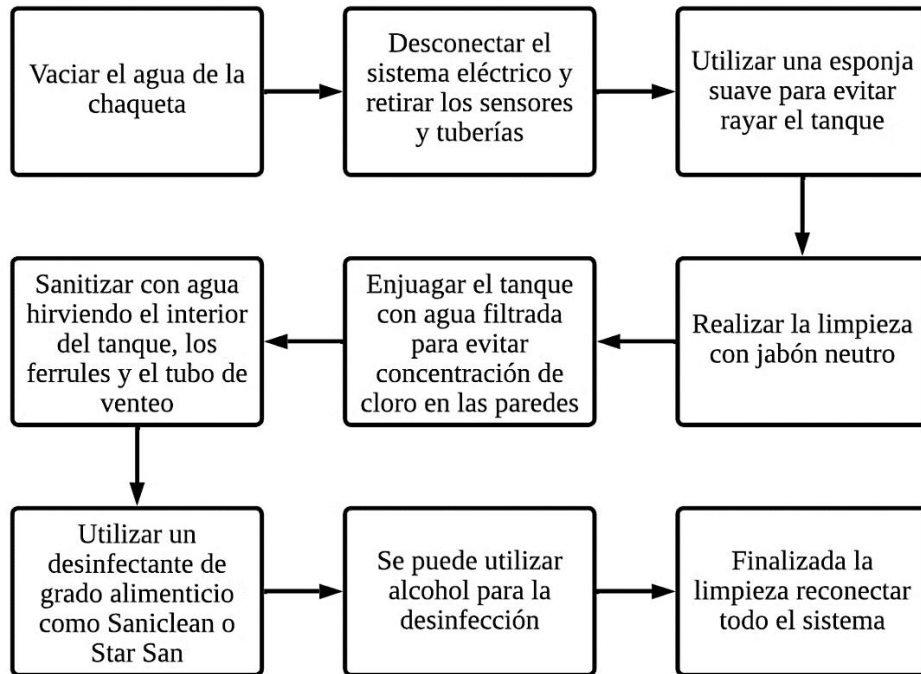
Operación del Equipo

Para el correcto funcionamiento durante el proceso de fermentación se debe realizar las siguientes actividades:



Mantenimiento del equipo

Se recomienda efectuar estas actividades al finalizar cada producción para extender la vida útil del tanque fermentador y los elementos del sistema de control:



En caso de falla o interrupción del sistema eléctrico se debe de realizar las actividades de control y operación nuevamente para reactivar el sistema de enfriamiento.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se diseñó el tanque fermentador considerando parámetros de diseño de presión y temperatura obteniendo espesores de la pared de la cubierta de 4 milímetros, de la chaqueta de 2 milímetros y del envolvente, tapas y cono un espesor de 3 milímetros.
- Se seleccionó como alternativa de diseño el sistema de fermentación discontinua y construcción de tipo columna principalmente por la facilidad de limpieza y el bajo costo de construcción, operación y mantenimiento.
- El material elegido para diseñar el prototipo es el acero inoxidable AISI 304 que es la opción más económica, además de ser muy práctico para la mayoría de los entornos. También se seleccionó la espuma de poliuretano como aislante debido a sus excelentes propiedades y bajo costo. La jaula que sujetará a las chaquetas es de acero ASTM A36 debido a su resistencia y a que no estará en contacto con el agua.
- Se obtuvo un prototipo para un volumen de 100 litros y un peso aproximado de 70 kilogramos debido a los materiales de construcción y a los accesorios que van soldados al tanque. Además, se diseñó unos soportes de 900 milímetros para permitir el acople de instrumentos para vaciar el tanque con lo que la altura del tanque fermentador alcanza 1,7 metros de altura total.
- Para realizar el análisis de transferencia de calor se simplificó el sistema determinando el flujo de calor que proviene desde el ambiente y desde el mosto hacia el agua de la chaqueta. Se realizó el análisis con aislante ($q=0.53$ W) y sin aislante ($q=23,66$ W) comprobando que el flujo de calor con aislamiento es muchísimo menor que en el caso de no tener la espuma de poliuretano. Finalmente se calculó el calor que llega al agua de la chaqueta que alcanza los 72312,31 W y circula un flujo másico de agua de 1,15 kg/s.
- Se diseñó el sistema de control en lenguaje Ladder para que pueda ser interpretado por un PLC para que realice el proceso de enfriamiento, además,

se diseñó una interfaz de usuario que permita el ingreso de temperaturas para controlar el encendido del sistema para vaciar y llenar la chaqueta.

- Se plantearon recomendaciones de arranque, operación y mantenimiento con la finalidad de extender la vida útil del fermentador y que el operario pueda manipular el tanque, los accesorios y todo el sistema.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda tratar el agua que va a ingresar en la chaqueta mediante algún sistema purificador o con el uso de filtros para evitar que se depositen sedimentos en el interior que puedan producir daños en el material, en los sensores, que afecten la transferencia de calor o comprometan el funcionamiento del llenado y vaciado del agua.
- Se realizó el programa para que funcione de manera visual, por lo que al introducirlo en un PLC no podría interactuar correctamente con las señales de sensores de distancia y temperatura. Se recomienda cambiar la programación en la sección “Comparar temperatura”, en la parte de la función de incrementos y decrementos por una función que escale la señal analógica que llega del sensor.
- Aunque por condiciones económicas se eligió en el prototipo el uso del acero inoxidable AISI 304, si el tanque se encuentra en condiciones extremas con presencia de cloruros, o si se desea utilizarlo en un ámbito más industrial se recomienda el cambio por el acero AISI 316 que tiene mejores propiedades.

Referencias Bibliográficas

- [1] J. M. García Méndez y L. A. Guzmán Cortés, Repositorio IPN MX, [En línea]. Disponible en:
https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/20226/1/DISEÑO%20TANQUE%20TANQUE_H.pdf. [Último acceso: 27-07-2022].
- [2] T. E. Landivar Moreno, Repositorio ESPOCH, 23 11 2015. [En línea].
Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4976>. [Último acceso: 27-7-2022].
- [3] C. Suárez, A. Garrido y C. Guevara, "Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol", Instituto Cubano de Investigaciones sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 50, n° 1, p. 9, 2016.
- [4] A. Garduño García, I. López Cruz, S. Martínez Romero y A. Ruíz García, "Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal", Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. 15, n° 2, p. 12, 2014.
- [5] E. Bricio Barrios, H. Hernández Escoto y S. Arceo Díaz, "Control y optimización simultáneo de un proceso de fermentación de cerveza", Academia Journals, vol. 6, n° 2, p. 82, 2017.
- [6] Induacero, [En línea]. Disponible en: <http://induacero.com.ec>. [Último acceso: 27-07-2022].
- [7] P. Jaramillo, Revista Gestión, [En línea]. Disponible en:
https://revistagestion.ec/sites/default/files/import/legacy_pdfs/269_005.pdf.
[Último acceso: 27-07-2022].
- [8] L. Ferreyra, UNLP, 2014. [En línea]. Disponible en:
<https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreyra-.pdf>. [Último acceso: 10-9-2022].

- [9] El Diario, 17-6-2017. [En línea]. Disponible en:
https://www.eldiario.es/consumoclaro/beber/como-hacer-cerveza-casera-facil_1_3308983.html. [Último acceso: 10-9-2022].
- [10] M. Gisbert, UPV, [En línea]. Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73275/Diseño%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20una%20planta%20elaboradora%20de%20cerveza.pdf?sequence=3>. [Último acceso: 10-9-2022].
- [11] UNL, [En línea]. Disponible en:
<https://www.fiq.unl.edu.ar/culturacientifica/extension-fiq/mundo-microscopico-i-la-levadura/#:~:text=La%20levadura%20son%20hongos%20unicelulares,el%20intestino%20de%20los%20animales>. [Último acceso: 10-9-2022].
- [12] Cervecistas, 7 8 2020. [En línea]. Disponible en:
<https://www.loscervecistas.es/cultura-cervecista/la-fermentacion-clave-en-la-produccion-cervecera/#:~:text=La%20fermentación%20es%20un%20paso,etanol%20y%20dióxido%20de%20carbono>. [Último acceso: 10-9-2022].
- [13] J. P. Holman, "Transferencia de Calor", New York: Mc Graw Hill, 2010.
- [14] Rua, [En línea]. Disponible en:
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisión%20de%20calor%20%28CONDUCCION%2C%20CONVECCION%2C%20RADIACION%29.pdf>. [Último acceso: 10-9-2022].
- [15] Hanna Instruments, [En línea]. Disponible en:
<https://www.hannacolombia.com/blog/post/295/la-importancia-la-temperatura-en-la-elaboracion-cerveza>. [Último acceso: 04-10-2022].
- [16] Laboratorio Químico, 15-2-2015. [En línea]. Disponible en:
<https://www.tplaboratorioquimico.com/quimica-general/las-propiedades-de-la-materia/que-es-el-volumen.html>. [Último acceso: 10-9-2022].

- [17] B. Espada, Ok Diario, 2-5-2021. [En línea]. Disponible en:
<https://okdiario.com/curiosidades/que-acero-inoxidable-como-hace-4203473>.
[Último acceso: 10-9-2022].
- [18] MicetBrewing, Micet Craft, 16-06-2021. [En línea]. Disponible en:
<https://www.micetcraft.com/es/que-son-tanques-de-fermentacion/>. [Último
acceso: 27-07-2022].
- [19] P. Ponce, The Big Wine Theory, 22-08-2016. [En línea]. Disponible en:
[https://thebigwinetheory.com/2016/08/22/que-son-las-chaquetas-o-camisas-
que-vemos-en-los-tanques-de-acero-inoxidable/](https://thebigwinetheory.com/2016/08/22/que-son-las-chaquetas-o-camisas-que-vemos-en-los-tanques-de-acero-inoxidable/). [Último acceso: 27-07-2022].
- [20] E. C. Pilares, Universidad Nacional de San Agustín, 2014. [En línea].
Disponible en:
[http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?s
equence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3968/IQcopie027.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 10-9-2022].
- [21] M. Gandhi, Autycom, 27-11-2020. [En línea]. Disponible en:
<https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>. [Último acceso: 27-
07-2022].
- [22] GSL, GSL Industrias, 01-06-2021. [En línea]. Disponible en:
[https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-
funciona](https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona). [Último acceso: 27-07-2022].
- [23] N. Zambetti, Fundación Aquae, [En línea]. Disponible en:
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/sabes-arduino-sirve/>. [Último acceso:
27-07-2022].
- [24] Akribis, [En línea]. Disponible en: [https://www.akribis.info/web/los-sensores-
de-temperatura-mas-usados-en-la-industria/](https://www.akribis.info/web/los-sensores-de-temperatura-mas-usados-en-la-industria/). [Último acceso: 10-9-2022].
- [25] HBM, [En línea]. Disponible en: [https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-
sensor-de-presion/](https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/). [Último acceso: 26-09-2022].
- [26] Omega, [En línea]. Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de>

- nivel-medicion.html. [Último acceso: 26-09-2022].
- [27] Inoxmim, [En línea]. Disponible en: <https://www.inoxmim.com/blog-c/que-es-una-bomba-centrifuga>. [Último acceso: 10-9-2022].
- [28] Burkert, [En línea]. Disponible en: <https://www.burkert.es/es/Empresa-y-carrera/Actualidades/Prensa/Mediateca/Informes-tecnicos/Informes-tecnicos-temas-adicionales/Que-es-una-electrovalvula-y-como-funciona#:~:text=Las%20electroválvulas%20están%20formadas%20por,impi-diendo%20el%20paso%20de%20>. [Último acceso: 10-9-2022].
- [29] ASME, [En línea]. Available:
[https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/standards_and_certification/scstudentbr_aug15r3-\(002\).pdf](https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/who%20we%20are/standards_and_certification/scstudentbr_aug15r3-(002).pdf).
[Último acceso: 10-9-2022].
- [30] ASME, "Reglas de construcción de buques a presión Sección VIII División 1", New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019.
- [31] A. Santana, Tesis IPN, 11-2009. [En línea]. Disponible en:
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6142/ANALICOMPSOPORT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 29-09-2022].
- [32] M. Pérez, M. Nápoles y M. De La Cruz, Scielo, 01-01-2021. [En línea].
Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000100105#B7. [Último acceso: 06-10-2022].
- [33] Fuente San Felipe, [En línea]. Disponible en:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi_ss-nsM36AhUHRzABHYQpCdAQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Ffuente-sanfelipe.com%2F&usq=A0vVaw0byK0jue-joE2fXRtlU_d5. [Último acceso: 06-10-2022].
- [34] Openstax, [En línea]. Disponible en: <https://openstax.org/books/física-universitaria-volumen-2/pages/1-3-dilatacion->

Anexos

Anexo A. Valores de tensión máxima permisible para materiales ferrosos

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values S for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/Thickness, in.	P-No.	Group No.
1	18Cr-8Ni	Smls. & wld. pipe	SA-312	TP304L	S30403	...	...	8	1
2	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-312	TP304L	S30403	...	...	8	1
3	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-312	TP304L	S30403	...	...	8	1
4	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-312	TP304L	S30403	...	...	8	1
5	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-358	304L	S30403	1	...	8	1
6	18Cr-8Ni	Smls. & wld. fittings	SA-403	304L	S30403	...	...	8	1
7	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-409	TP304L	S30403	...	...	8	1
8	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	304L	S30403	...	...	8	1
9	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	304L	S30403	...	...	8	1
10	18Cr-8Ni	Wld. tube	SA-688	TP304L	S30403	...	...	8	1
11	18Cr-8Ni	Wld. tube	SA-688	TP304L	S30403	...	...	8	1
12	18Cr-8Ni	Wld. tube	SA-688	TP304L	S30403	...	...	8	1
13	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-813	TP304L	S30403	...	...	8	1
14	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-814	TP304L	S30403	...	...	8	1
15	18Cr-8Ni	Bar	SA/JIS G4303	SUS304L	...	...	...	8	1
16	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	>5	8	1
17	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	>5	8	1
18	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	>5	8	1
19	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	>5	8	1
20	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF3	J92500	...	...	8	1
21	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF3	J92500	...	...	8	1
22	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF8	J92600	...	...	8	1
23	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF8	J92600	...	...	8	1
24	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF8	J92600	...	...	8	1
25	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304	S30400	...	...	8	1
26	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304	S30400	...	...	8	1
27	18Cr-8Ni	Cast pipe	SA-451	CPF3	J92500	...	...	8	1
28	18Cr-8Ni	Cast pipe	SA-451	CPF8	J92600	...	...	8	1
29	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304	S30400	...	...	8	1
30	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304	S30400	...	...	8	1
31	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304H	S30409	...	...	8	1
32	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304H	S30409	...	...	8	1
33	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	≤5	8	1
34	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	≤5	8	1
35	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	≤5	8	1
36	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	≤5	8	1
37	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304	S30400	...	...	8	1
38	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304	S30400	...	...	8	1
39	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304H	S30409	...	...	8	1
40	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304H	S30409	...	...	8	1
41	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	302	S30200	...	...	8	1
42	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	302	S30200	...	...	8	1
43	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304	S30400	...	...	8	1
44	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304	S30400	...	...	8	1
45	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304H	S30409	...	...	8	1
46	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304H	S30409	...	...	8	1

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values S for Ferrous Materials
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Min. Tensile Strength, ksi	Min. Yield Strength, ksi	Applicability and Max. Temperature Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only)				External Pressure Chart No.	Notes
			I	III	VIII-1	XII		
			1	70	25	800			800	1200	650	HA-3	G5, G21, T4, W12, W14
2	70	25	800	NP	1200	650	HA-3	G21, T6
3	70	25	800	NP	1200	650	HA-3	G5, G21, G24, T4
4	70	25	800	NP	1200	650	HA-3	G21, G24, T6
5	70	25	NP	800	NP	NP	HA-3	G5, W12
6	70	25	NP	800	1200	650	HA-3	G5, T4, W12, W14
7	70	25	NP	800	NP	NP	HA-3	G5, W12
8	70	25	800	800	1200	650	HA-3	G5, G21, G22, T4
9	70	25	800	NP	1200	650	HA-3	G21, G22, T6
10	70	25	NP	800	NP	NP	HA-3	G5, W12
11	70	25	NP	NP	1200	650	HA-3	G5, G24, T4
12	70	25	NP	NP	1200	650	HA-3	G24, T6
13	70	25	NP	800	NP	NP	HA-3	G5, W12
14	70	25	NP	800	NP	NP	HA-3	G5, W12
15	70	25	800	800	1200	NP	HA-3	G5, G21, G22, T4
16	70	30	1500	800	1500	650	HA-1	G5, G12, T7
17	70	30	1500	NP	1500	650	HA-1	G12, T8
18	70	30	1500	800	1500	NP	HA-1	G5, T7
19	70	30	1500	NP	1500	NP	HA-1	T8
20	70	30	NP	800	800	650	HA-3	G1, G5, G16, G17, G19
21	70	30	NP	NP	800	650	HA-3	G1, G19
22	70	30	1500	800	NP	NP	HA-1	G1, G5, G12, G16, G17, G19, H1, T6
23	70	30	1500	NP	1500	650	HA-1	G1, G12, G19, H1, T7
24	70	30	NP	NP	1500	650	HA-1	G1, G5, G12, G19, T6
25	70	30	NP	800	1500	650	HA-1	G5, G12, S9, T7
26	70	30	NP	NP	1500	650	HA-1	G12, S9, T8
27	70	30	NP	800	NP	NP	HA-3	G5, G16, G17, G19
28	70	30	NP	800	NP	NP	HA-1	G5, G16, G17, G19
29	70	30	1500	800	1500	650	HA-1	G5, G12, T7
30	70	30	1500	NP	1500	650	HA-1	G12, T8
31	70	30	NP	800	1500	NP	HA-1	G5, T7
32	70	30	NP	NP	1500	NP	HA-1	T8
33	75	30	1500	NP	1500	NP	HA-1	G12, T8
34	75	30	1500	800	1500	NP	HA-1	G5, G12, T7
35	75	30	1500	NP	1500	NP	HA-1	T8
36	75	30	1500	800	1500	NP	HA-1	G5, T7
37	75	30	1500	NP	1500	NP	HA-1	G12, T8
38	75	30	1500	800	1500	NP	HA-1	G5, G12, T7
39	75	30	1500	NP	1500	NP	HA-1	T8
40	75	30	1500	800	1500	NP	HA-1	G5, T7
41	75	30	NP	NP	750	650	HA-1	G5
42	75	30	NP	NP	750	650	HA-1	...
43	75	30	1500	NP	1500	650	HA-1	G12, T8
44	75	30	1500	800	1500	650	HA-1	G5, G12, H1, T7
45	75	30	1500	800	1500	NP	HA-1	G5, T7
46	75	30	1500	NP	1500	NP	HA-1	T8

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values S for Ferrous Materials
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
1	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	12.8	11.9
2	16.7	...	14.3	...	12.8	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.7	9.5	9.3
3	14.2	...	14.2	...	14.2	13.4	12.5	11.9	11.7	11.4	11.3	11.1	10.9	10.1
4	14.2	...	12.1	...	10.9	9.9	9.3	8.8	8.6	8.5	8.3	8.2	8.1	7.9
5	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...	...
6	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	12.8	11.9
7	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...	...
8	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	12.8	11.9
9	16.7	...	14.3	...	12.8	11.7	10.9	10.4	10.2	10.0	9.8	9.7	9.5	9.3
10	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...	...
11	14.2	...	14.2	...	14.2	13.4	12.5	11.9	11.7	11.4	11.3	11.1	10.9	10.1
12	14.2	...	12.1	...	10.9	9.9	9.3	8.8	8.6	8.5	8.3	8.2	8.1	7.9
13	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...	...
14	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	...	...
15	16.7	...	16.7	...	16.7	15.8	14.7	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	12.8	11.9
16	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
17	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
18	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
19	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
20	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	...	...
21	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	...	...
22	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
23	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
24	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
25	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
26	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
27	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	...	...
28	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	...	...
29	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
30	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
31	20.0	...	18.9	...	17.7	17.1	16.9	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
32	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
33	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
34	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
35	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
36	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
37	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
38	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
39	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
40	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
41	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	...	...	...
42	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	...	...	...
43	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8
44	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
45	20.0	...	20.0	...	18.9	18.3	17.5	16.6	16.2	15.8	15.5	15.2	14.9	14.6
46	20.0	...	16.7	...	15.0	13.8	12.9	12.3	12.0	11.7	11.5	11.2	11.0	10.8

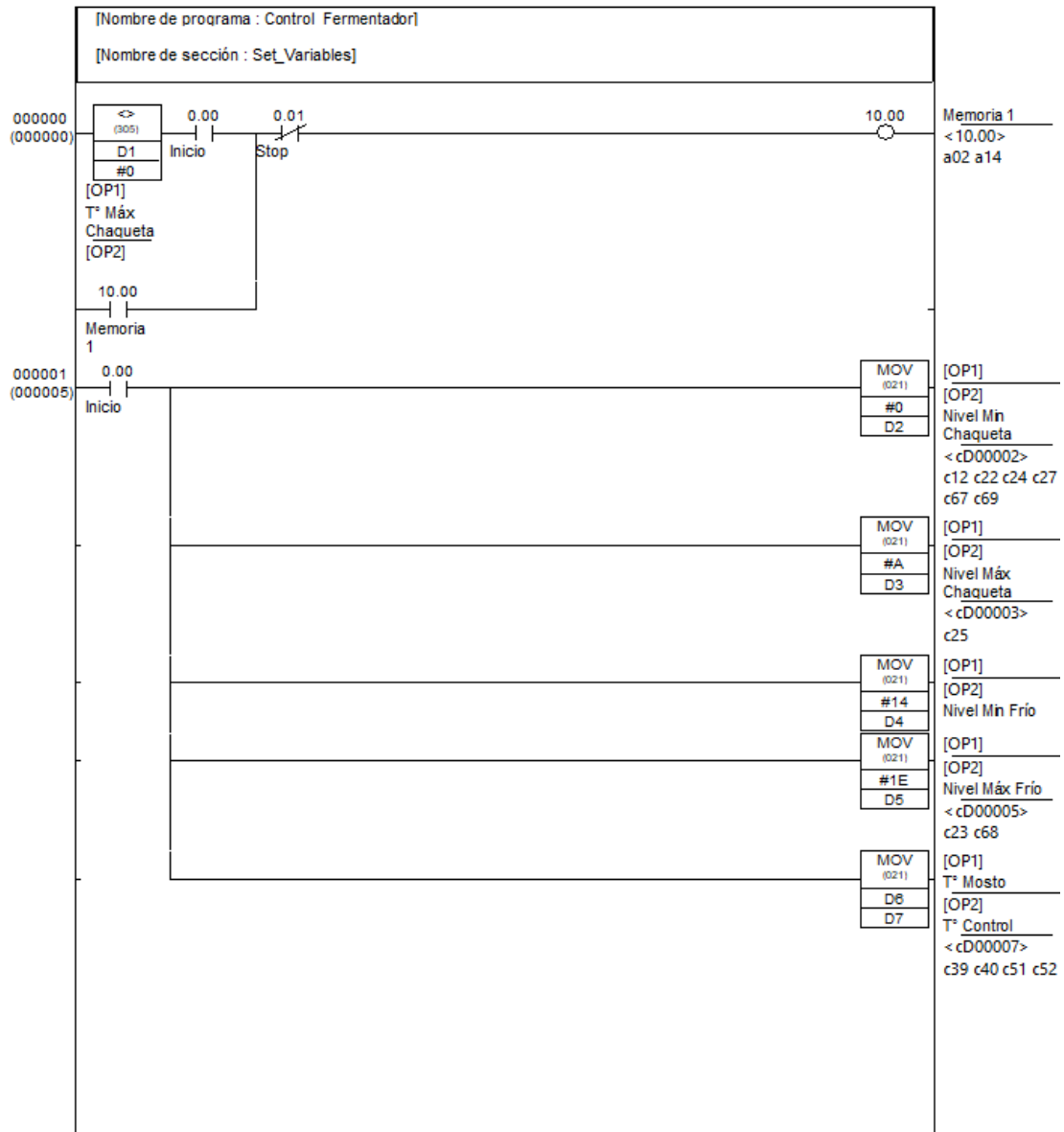
Anexo B. Propiedades termo físicas de gases a presión atmosférica

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

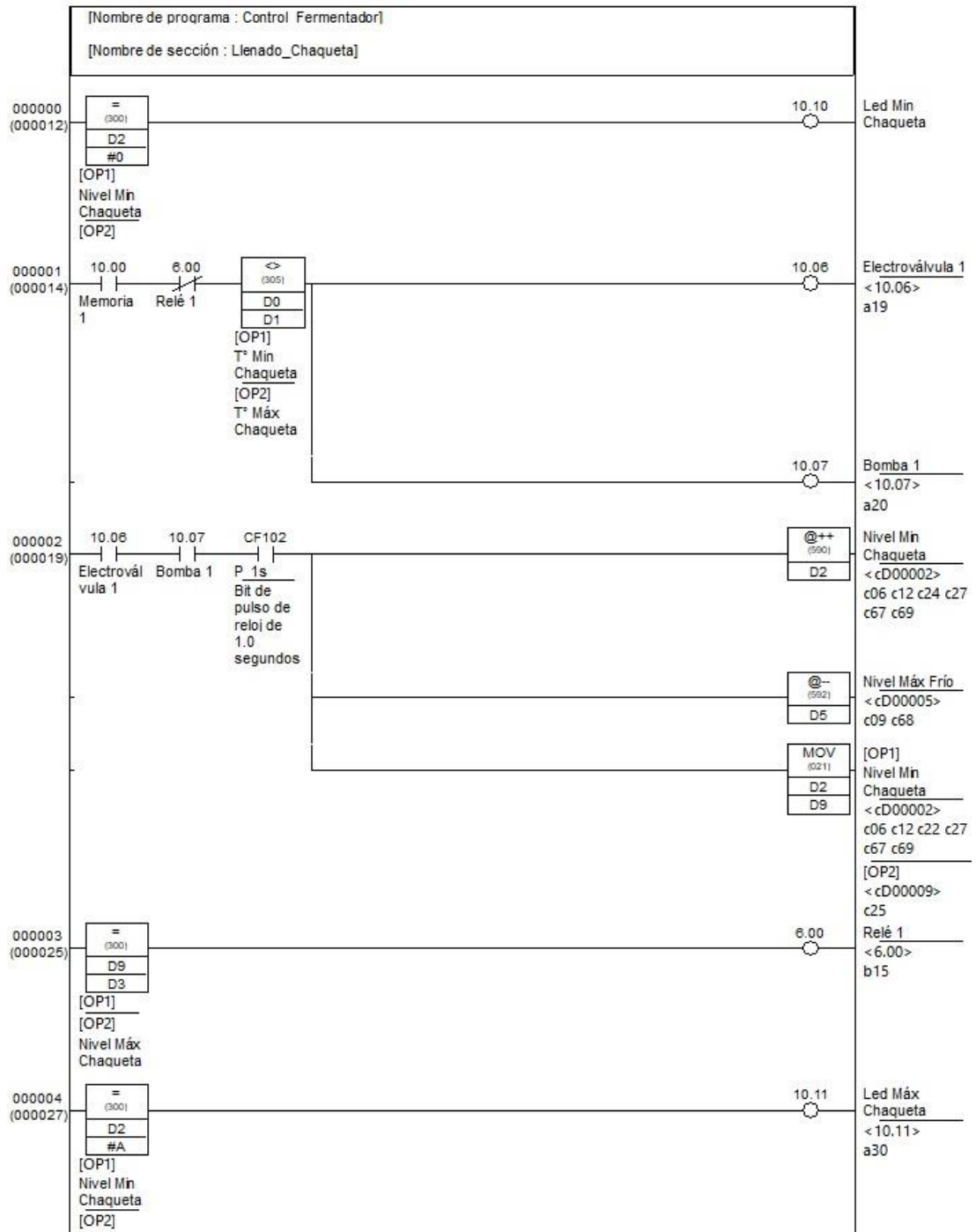
T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Amoniaco (NH₃)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Anexo C. Programación del sistema de control utilizando lenguaje Ladder en Cx-programmer

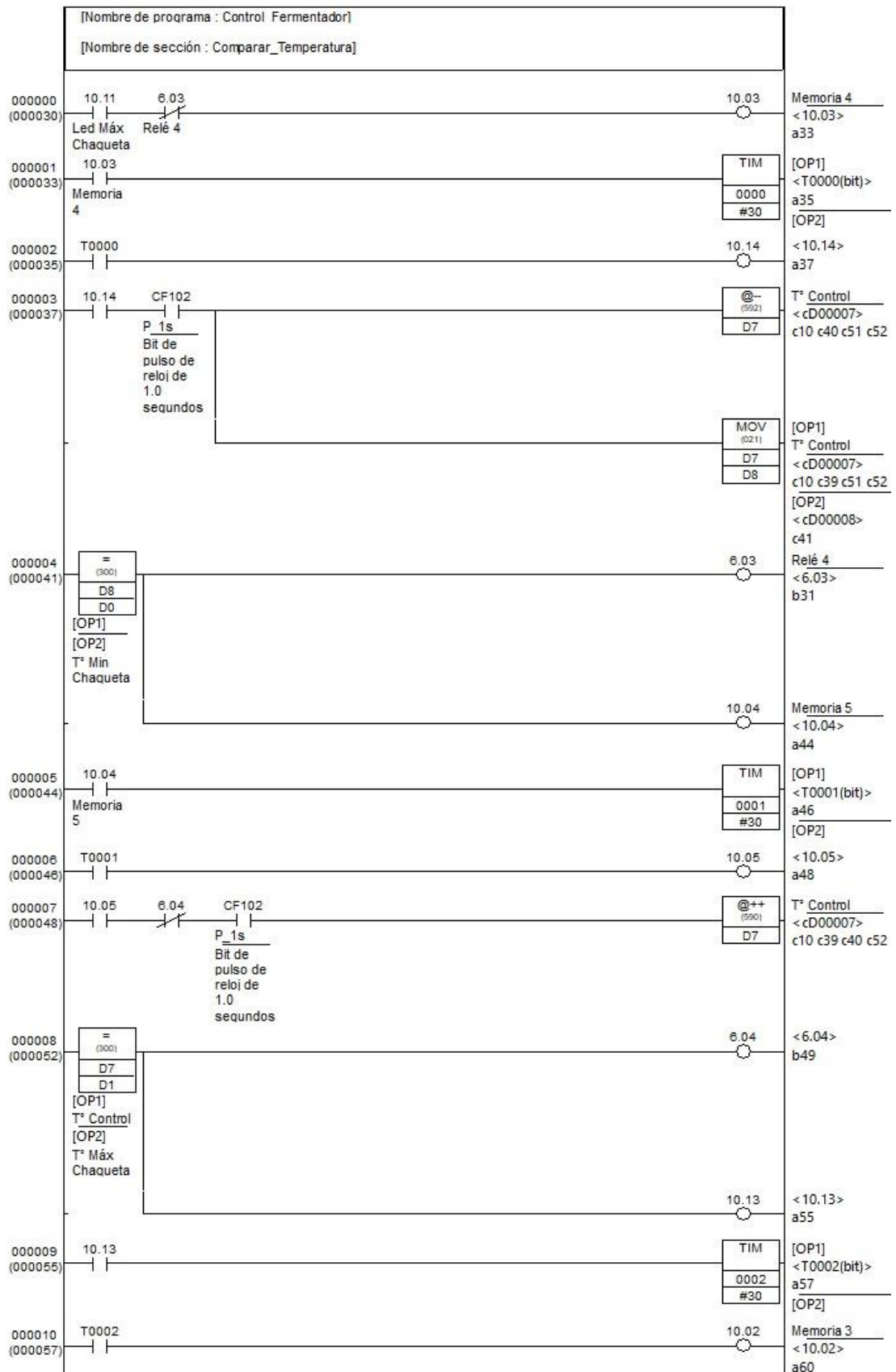
- **Sección 1: Set_Variables**



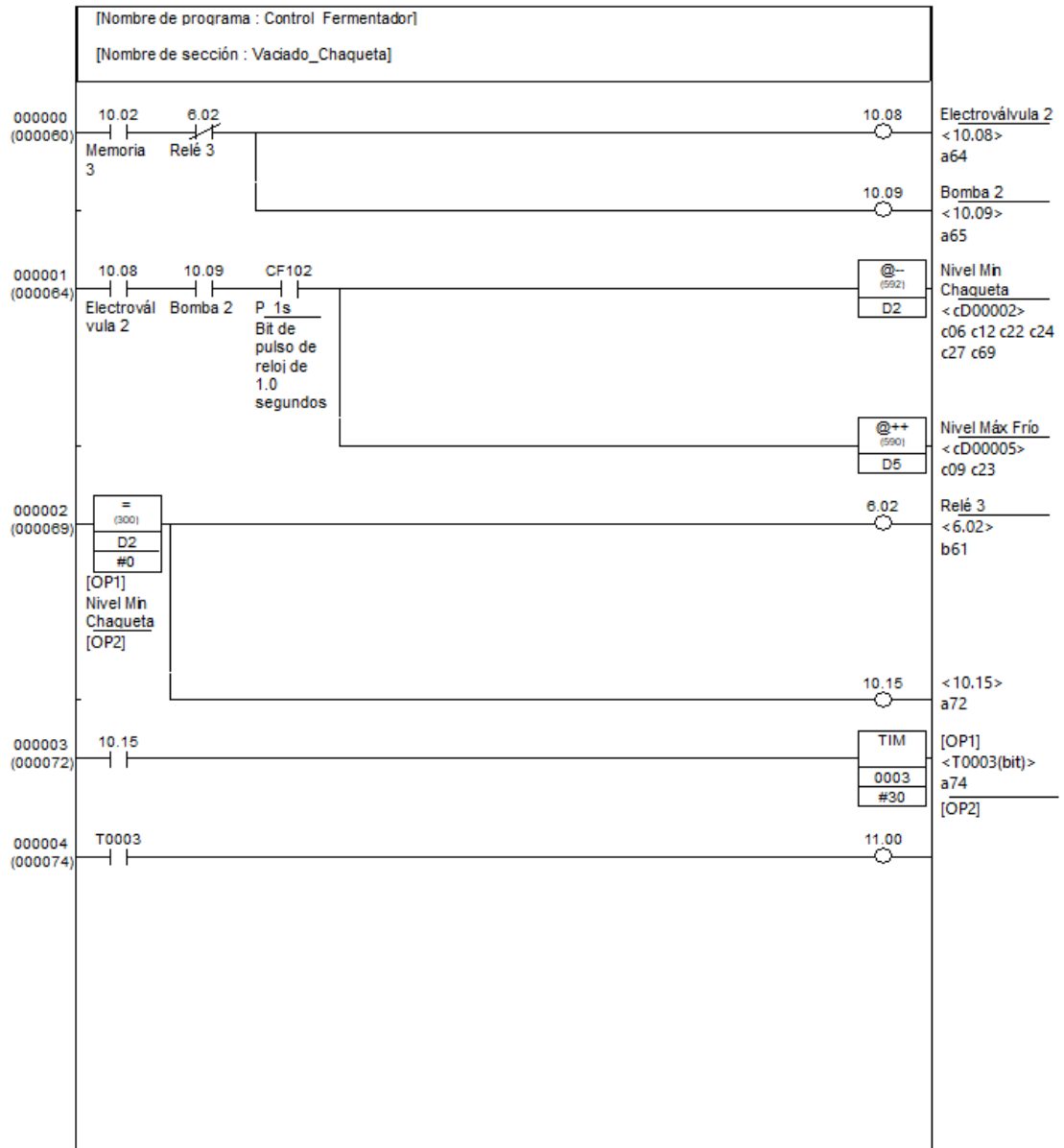
• **Sección 2: Llenado_Chaqueta**



- **Sección 3: Comparar_Temperatura**



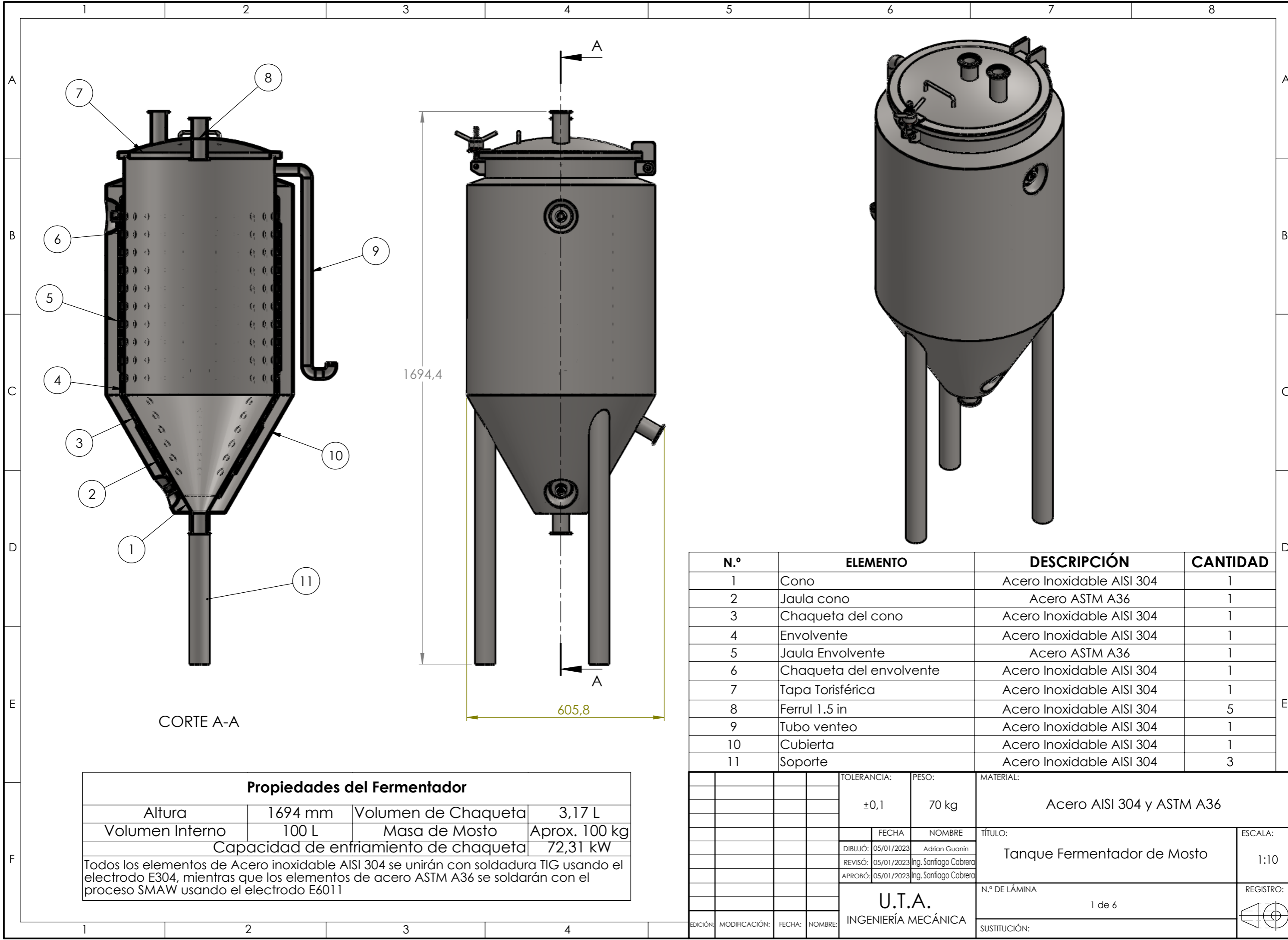
• **Sección 4: Vaciado_Chaqueta**



Anexo D. Índice de términos

TÉRMINO	REFERENCIA	UNIDAD
C_p	Capacidad calorífica	kJ/kg°C
k	Conductividad térmica	W/m°C
P_{CO_2}	Presión del Dióxido de carbono	kg/cm ²
ρ	Densidad	kg/cm ³
P_o	Presión de Operación	kg/cm ²
P	Presión de diseño	kg/cm ²
ΔV	Variación de volumen	cm ³
β	Coefficiente de dilatación volumétrica del agua	-
V_i	Volumen inicial	cm ³
ΔT	Variación de tempertura	°C
ΔL	Variación de longitud	cm
L	Longitud inicial	cm
C	Margen por corrosión	
S	Valor de esfuerzo del material	kg/cm ²
E	Eficiencia de la junta	
F	Relación diámetro/altura	
V	Volumen de diseño	cm ³
D_i	Diámetro interno del cilindro	cm
h	Altura	cm
t	Espesor	cm
M	Factor de la tapa torisférica	
A	Factor del material aplicable	
R_o	Radio exterior de la corona	cm
P_m	Presión interna máxima permitida	kg/cm ²
P_h	Presión hidrostática	kg/cm ²
g	gravedad	cm/s ²
R	Radio interior del envolvente	cm
D_o	Diámetro exterior del envolvente	cm

α	Ángulo de inclinación del cono	°
L_e	Longitud equivalente	cm
L_c	Longitud axial	cm
D_L	Diámetro exterior del extremo ancho del cono	cm
D_S	Diámetro exterior del extremo angosto del cono	cm
P_{mt}	Presión interna máxima de trabajo	kg/cm ²
h	Coefficiente convectivo	w/m ² * K
\overline{Nu}_D	Número de Nusselt	
Ra	Número de Rayleigh	
Pr	Número de Prandtl	
T_s	Temperatura de la superficie de la placa	°C
T_∞	Temperatura del ambiente	°C
ν	Viscosidad dinámica	kg/ms
q	Flujo de calor	W



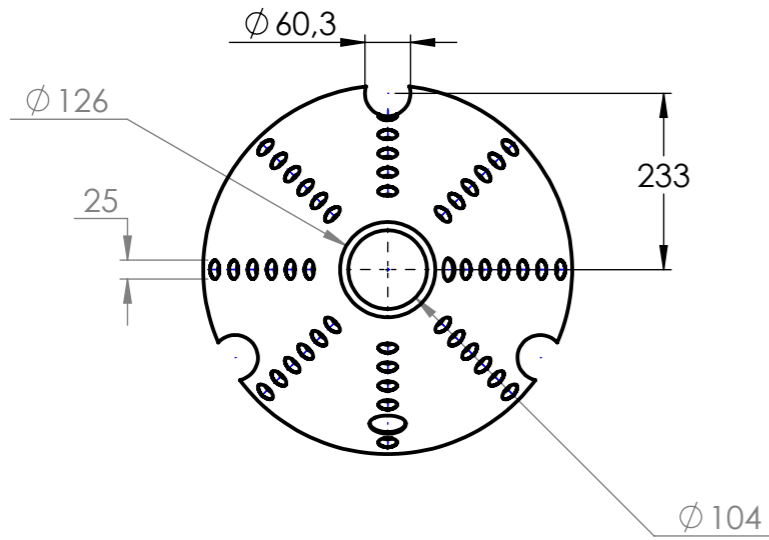
CORTE A-A

Propiedades del Fermentador			
Altura	1694 mm	Volumen de Chaqueta	3,17 L
Volumen Interno	100 L	Masa de Mosto	Aprox. 100 kg
Capacidad de entriamiento de chaqueta		72,31 kW	
Todos los elementos de Acero inoxidable AISI 304 se unirán con soldadura TIG usando el electrodo E304, mientras que los elementos de acero ASTM A36 se soldarán con el proceso SMAW usando el electrodo E6011			

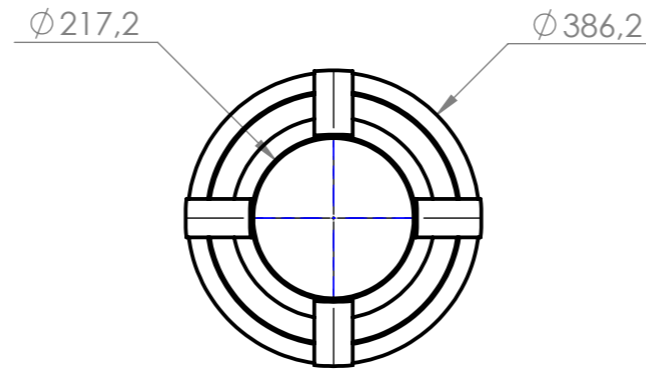
N.º	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cono	Acero Inoxidable AISI 304	1
2	Jaula cono	Acero ASTM A36	1
3	Chaqueta del cono	Acero Inoxidable AISI 304	1
4	Envolvente	Acero Inoxidable AISI 304	1
5	Jaula Envolvente	Acero ASTM A36	1
6	Chaqueta del envolvente	Acero Inoxidable AISI 304	1
7	Tapa Torisférica	Acero Inoxidable AISI 304	1
8	Ferrul 1.5 in	Acero Inoxidable AISI 304	5
9	Tubo venteo	Acero Inoxidable AISI 304	1
10	Cubierta	Acero Inoxidable AISI 304	1
11	Soporte	Acero Inoxidable AISI 304	3

TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
±0,1	70 kg	Acero AISI 304 y ASTM A36	
FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	ESCALA:
DIBUJÓ: 05/01/2023	Adrian Guanín	Tanque Fermentador de Mosto	1:10
REVISÓ: 05/01/2023	Ing. Santiago Cabrera		
APROBÓ: 05/01/2023	Ing. Santiago Cabrera		
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
		1 de 6	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:
		SUSTITUCIÓN:	

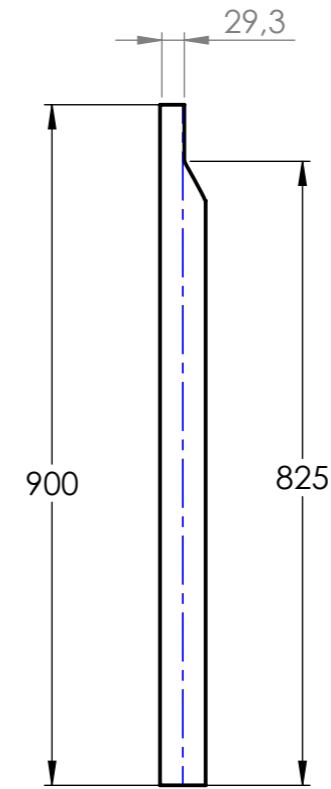
CHAQUETA DEL CONO



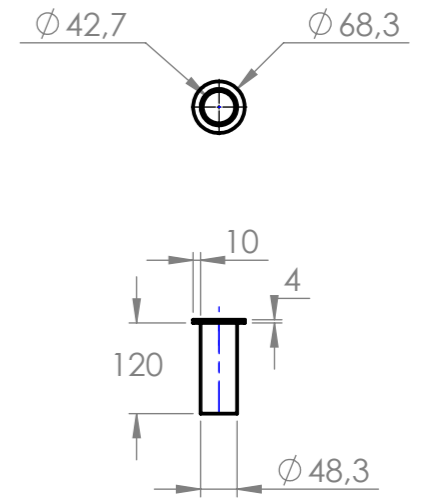
JAULA DEL CONO



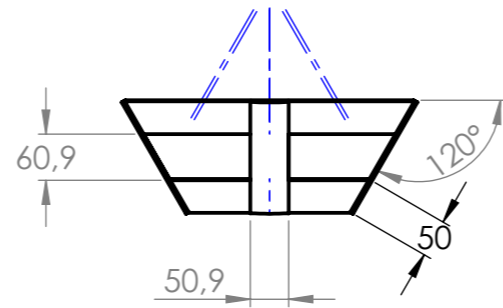
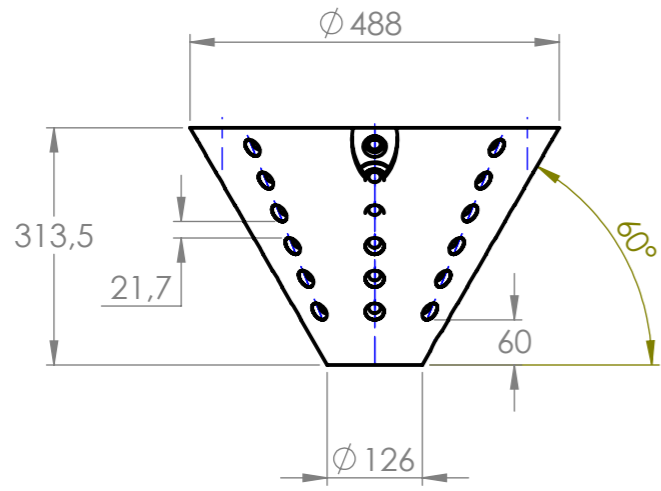
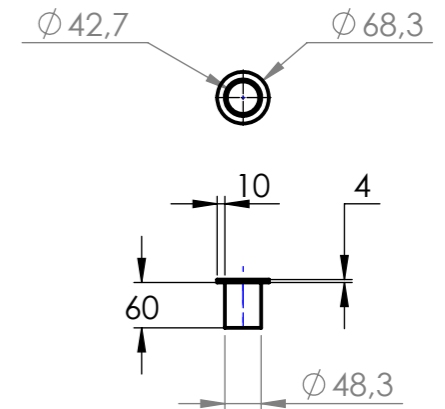
SOPORTE



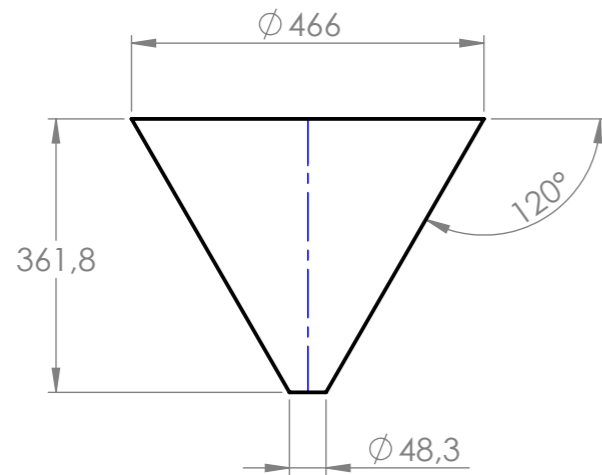
FERRUL DE DESFOGUE 1.5 IN



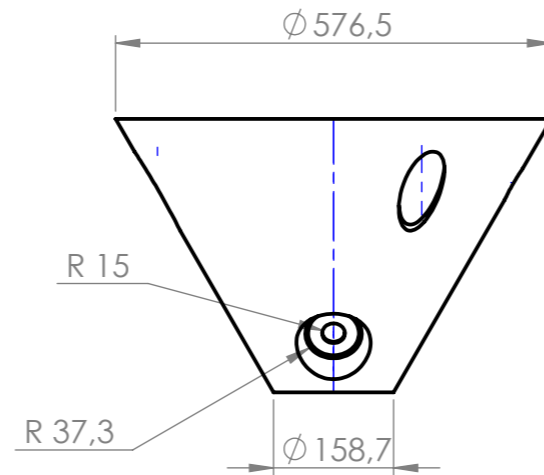
FERRUL INFERIOR 1.5 IN



CONO



CUBIERTA



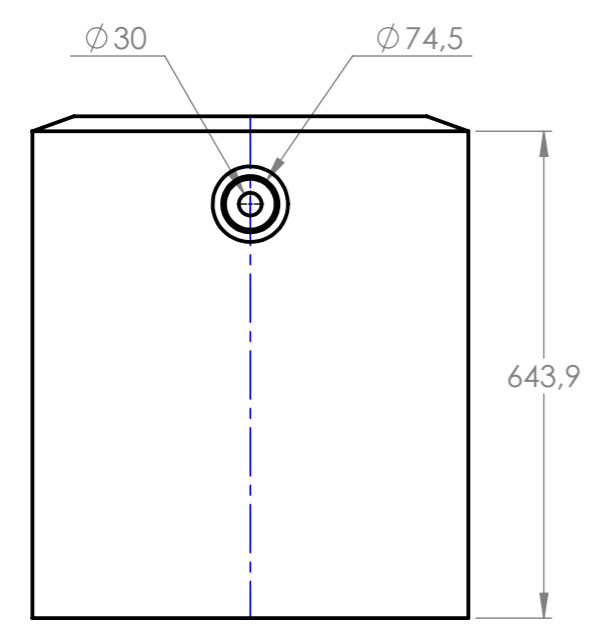
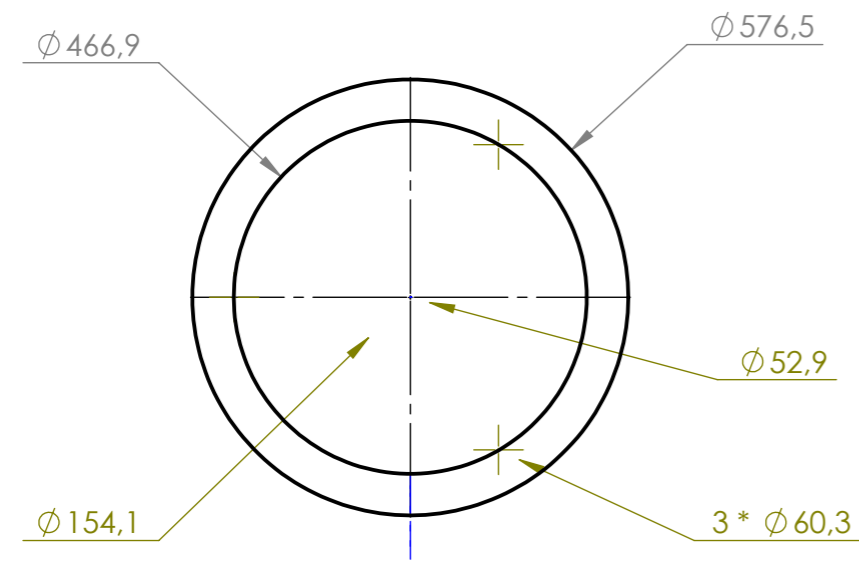
ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL
Cono	1	AISI 304
Chaqueta del Cono	1	AISI 304
Jaula del Cono	1	ASTM A36
Ferrul de Desfogue 1.5 in	1	AISI 304
Ferrul Inferior 1.5 in	1	AISI 304
Soporte	3	AISI 304
Cubierta	1	AISI 304

TOLERANCIA: ±0,1				PESO: 21,3 kg		MATERIAL: Acero AISI 304 y ASTM A36	
FECHA: 05/01/2023				NOMBRE: Adrian Guanin		TÍTULO: Componentes inferiores del tanque	
DIBUJÓ: 05/01/2023				REVISÓ: 05/01/2023		ESCALA: 1:10	
APROBÓ: 05/01/2023				ING. Santiago Cabrera		REGISTRO:	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA						N.º DE LÁMINA: 2 de 6	
EDICIÓN: MODIFICACIÓN: FECHA: NOMBRE:						SUSTITUCIÓN:	

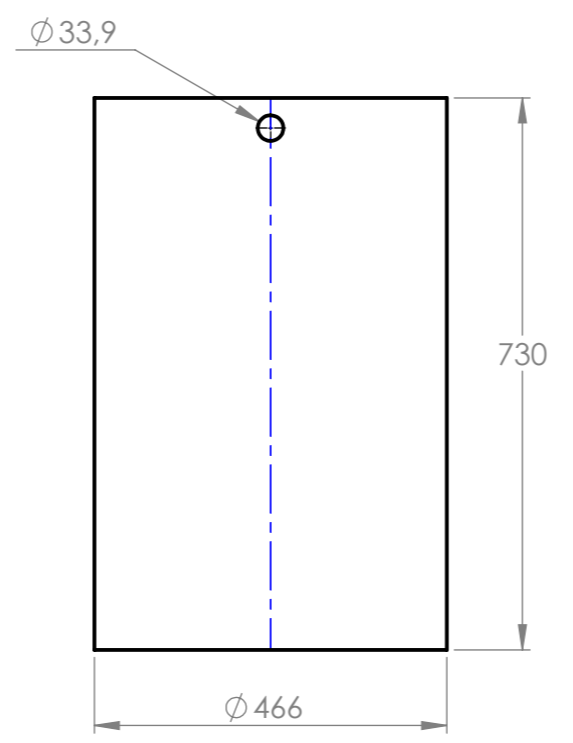
1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F

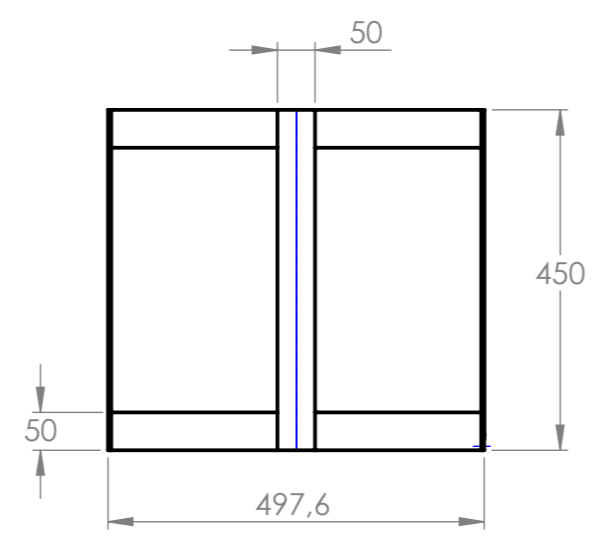
CUBIERTA



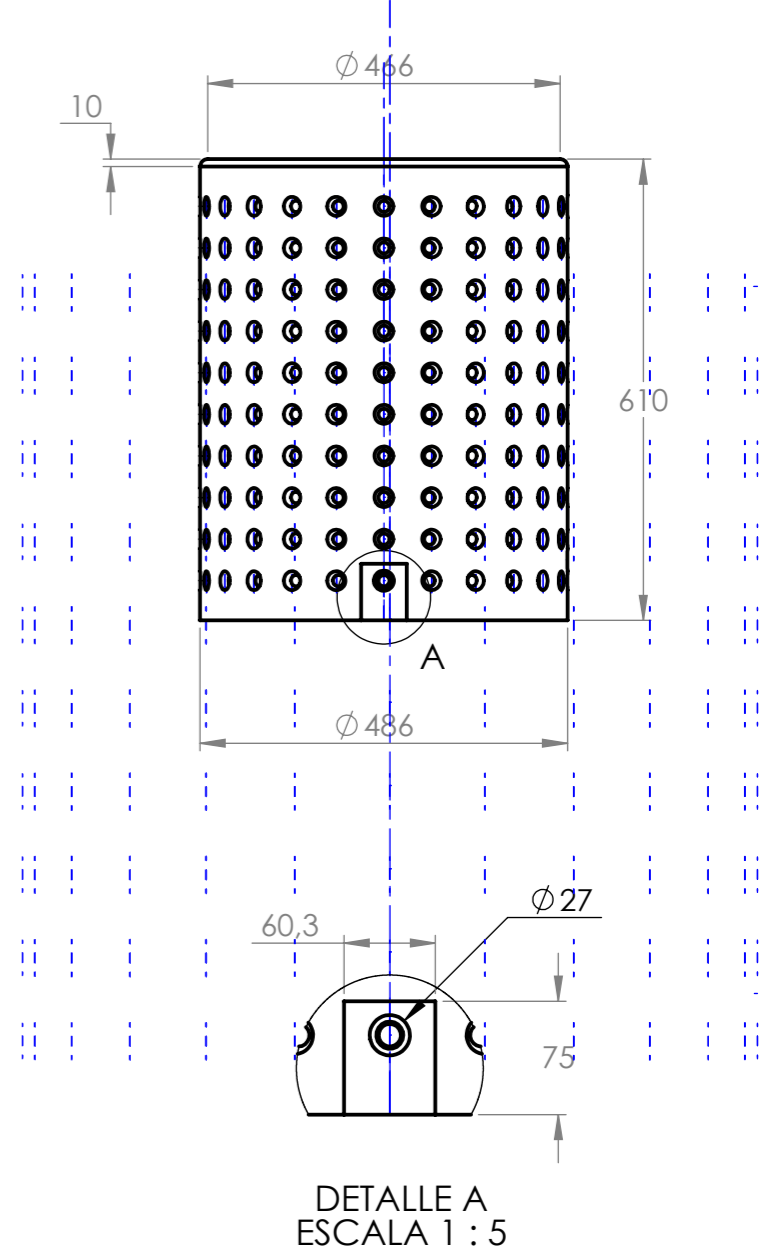
ENVOLVENTE



JAULA DEL ENVOLVENTE



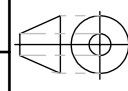
CHAQUETA DEL ENVOLVENTE



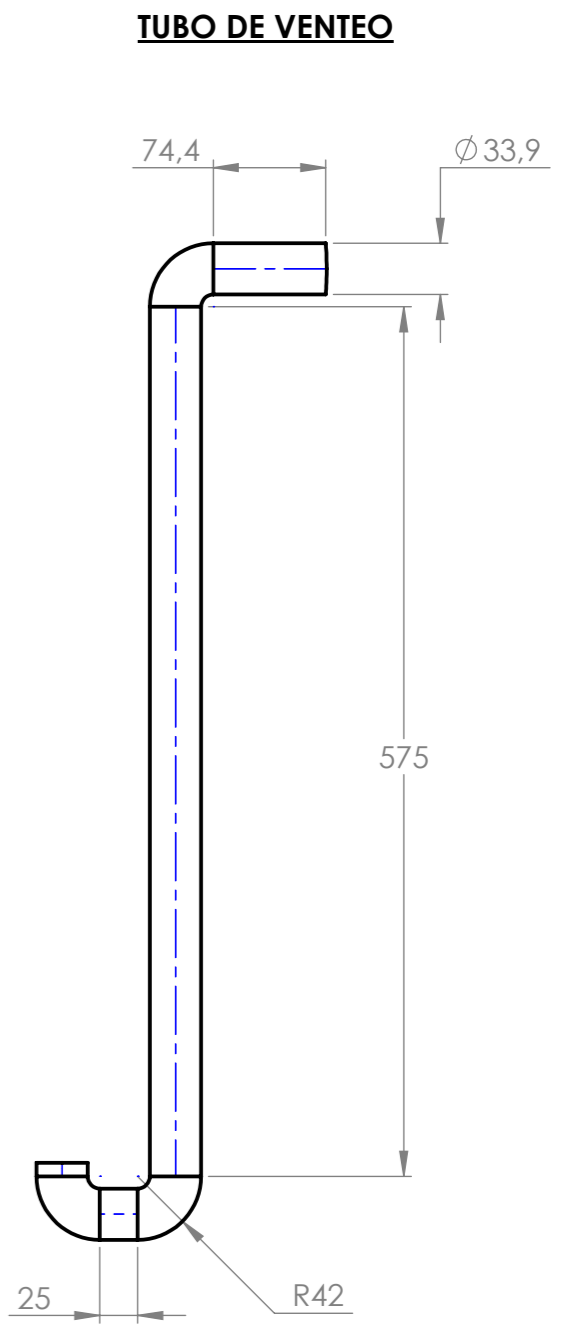
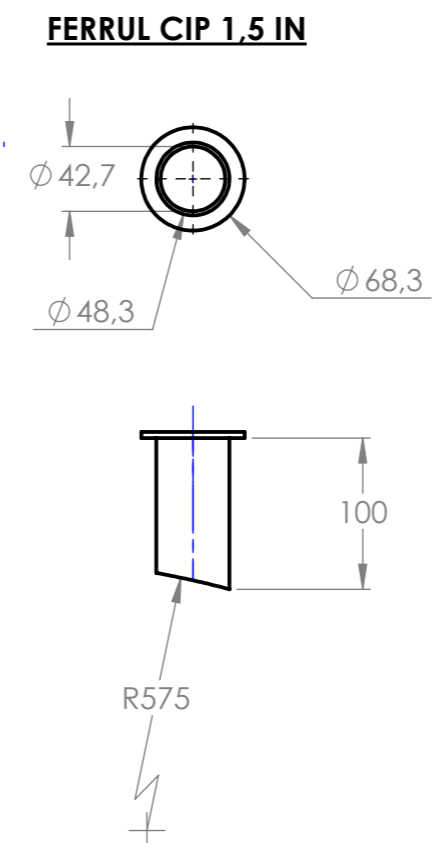
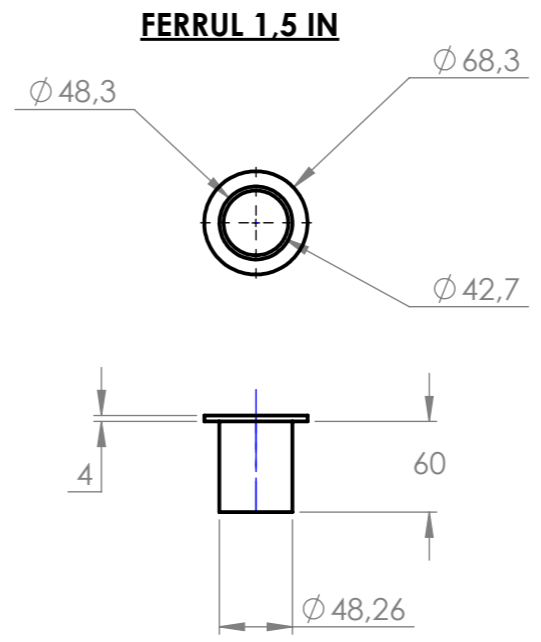
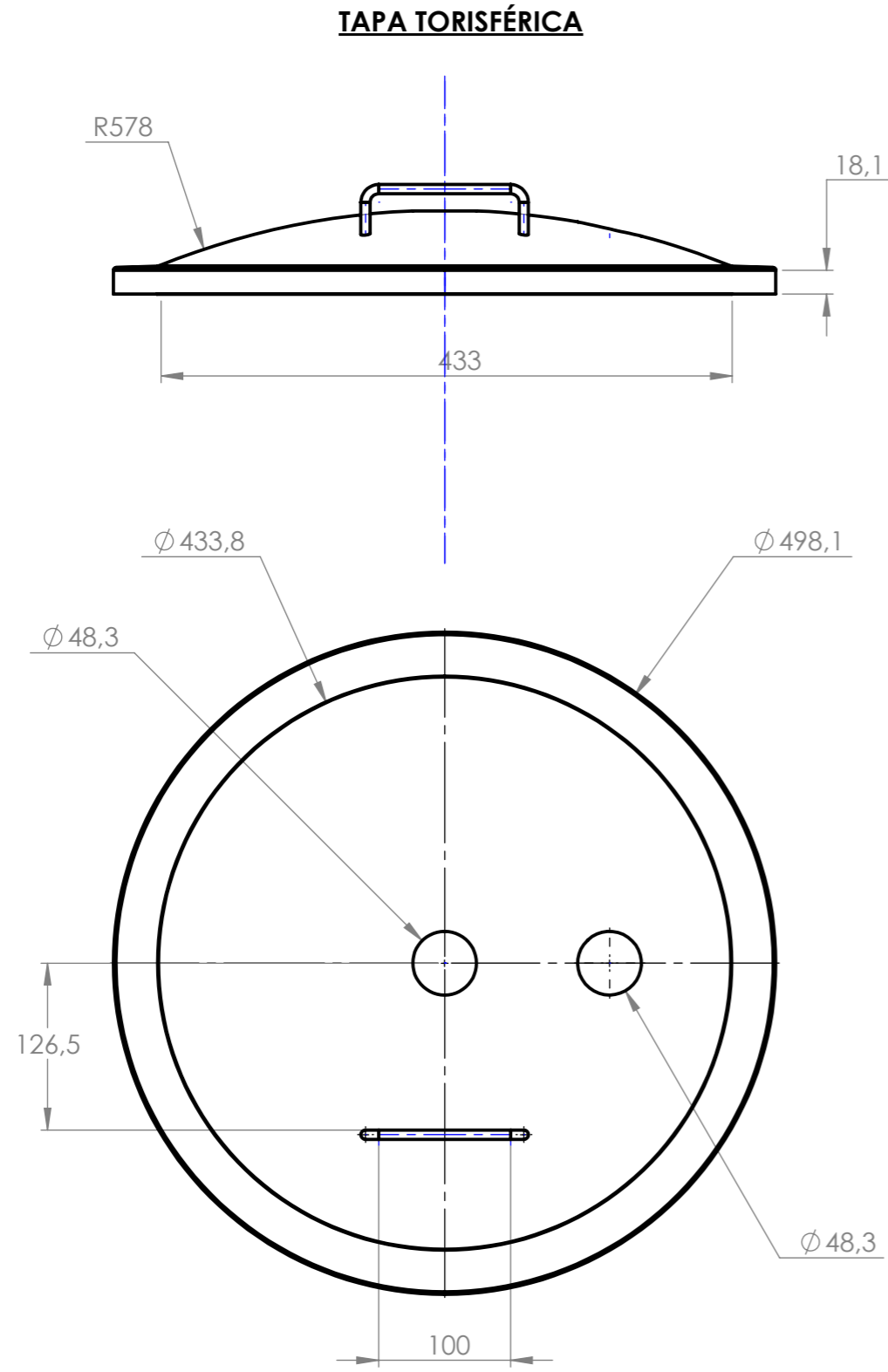
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL
Envolvente	1	AISI 304
Chaqueta del Envolvente	1	AISI 304
Jaula del Envolvente	1	ASTM A36
Cubierta	1	AISI 304

TOLERANCIA:	±0,1	PESO:	34 kg	MATERIAL:	Acero AISI 304 y ASTM A36	
FECHA:	05/01/2023	NOMBRE:	Adrian Guanin	TÍTULO:	Componentes intermedios del tanque	
DIBUJÓ:	05/01/2023	REVISÓ:	Ing. Santiago Cabrera	ESCALA:	1:10	
APROBÓ:	05/01/2023	INGENIERÍA MECÁNICA	U.T.A.	N.º DE LÁMINA:	3 de 6	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:		



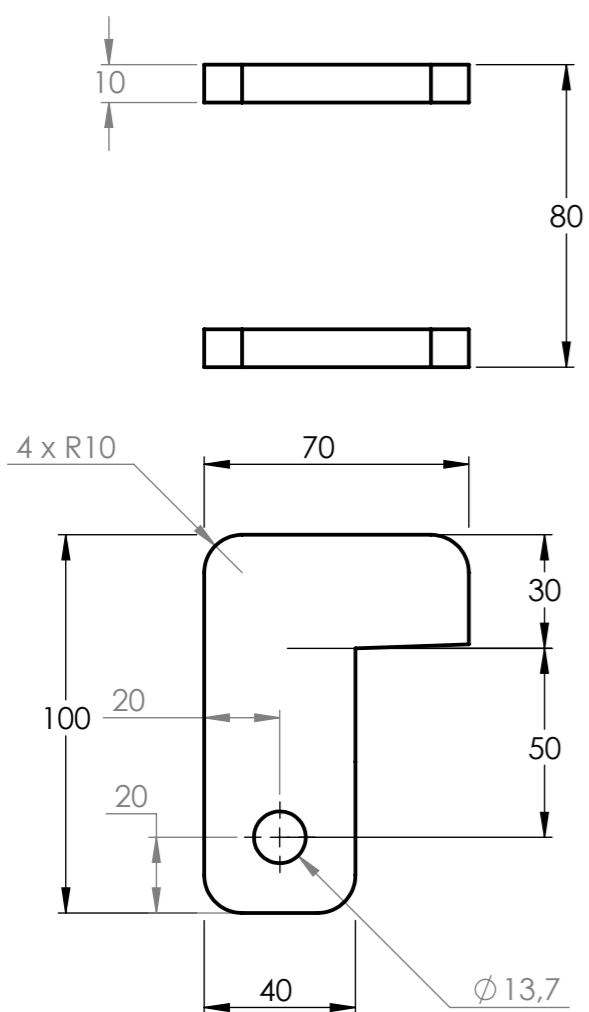
1 2 3 4



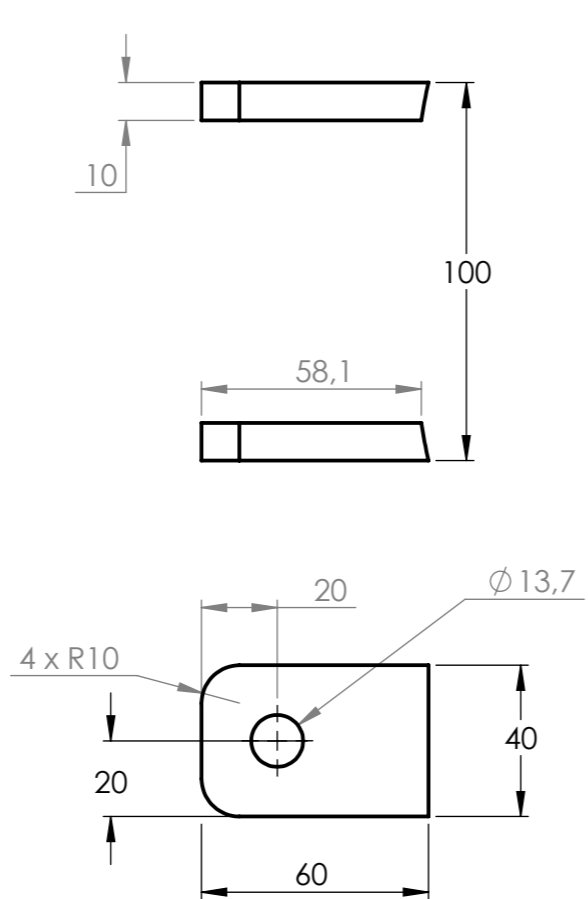
ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL
Tapa Torisférica	1	AISI 304
Ferrul 1.5 in	2	AISI 304
Ferrul Cip 1.5 in	1	AISI 304
Tubo de Venteo	1	AISI 304

TOLERANCIA: ±0,1				PESO: 13 kg		MATERIAL: Acero Inoxidable AISI 304	
DIBUJÓ: 05/01/2023				FECHA: 05/01/2023		TÍTULO: Componentes superiores del tanque	
REVISÓ: 05/01/2023				NOMBRE: Ing. Santiago Cabrera		ESCALA: 1:5	
APROBÓ: 05/01/2023				NOMBRE: Ing. Santiago Cabrera		REGISTRO:	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA						N.º DE LÁMINA: 4 de 6	
EDICIÓN:				MODIFICACIÓN:		SUSTITUCIÓN:	

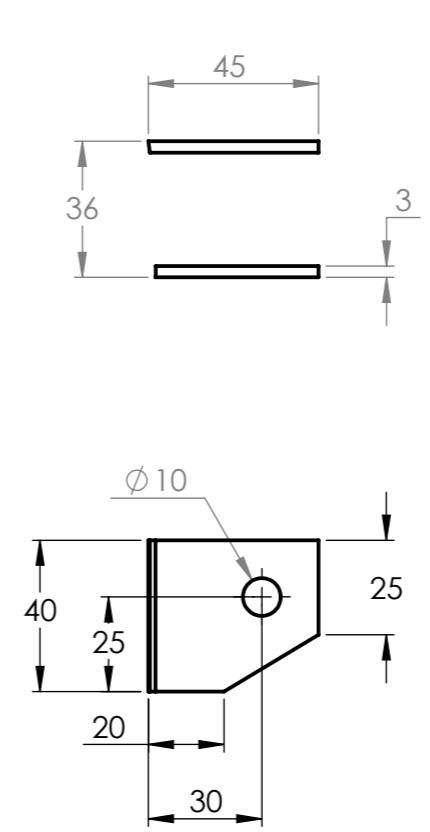
Bisagra de la tapa



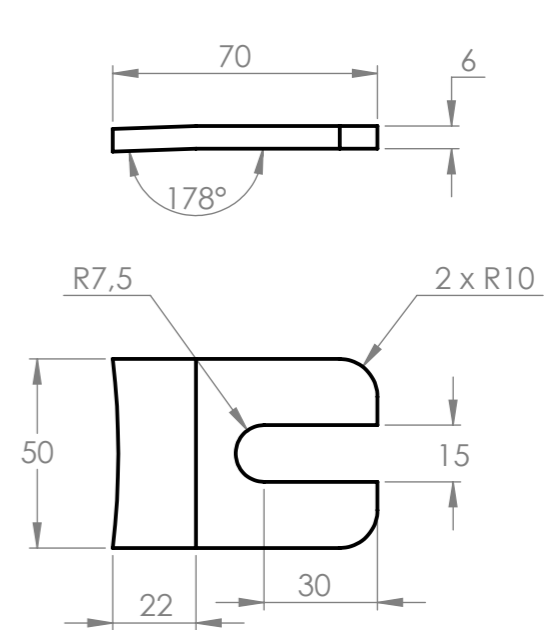
Bisagra del envoltente



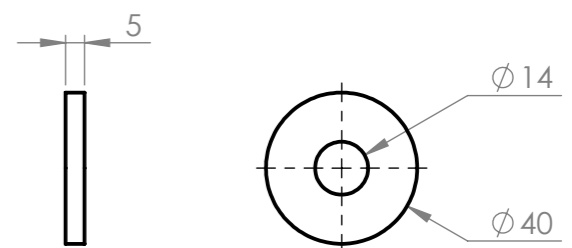
Bisagra de cerradura



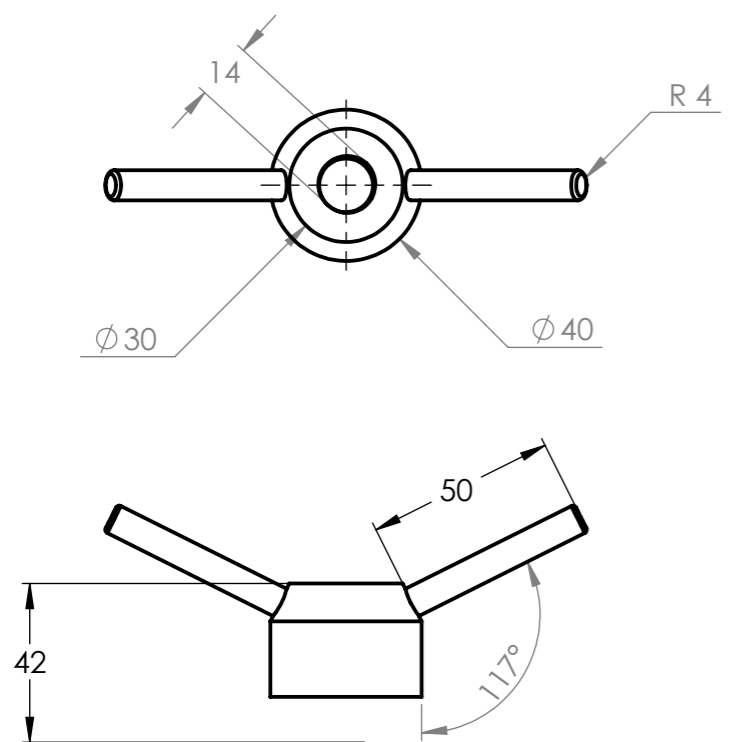
Seguro de tapa



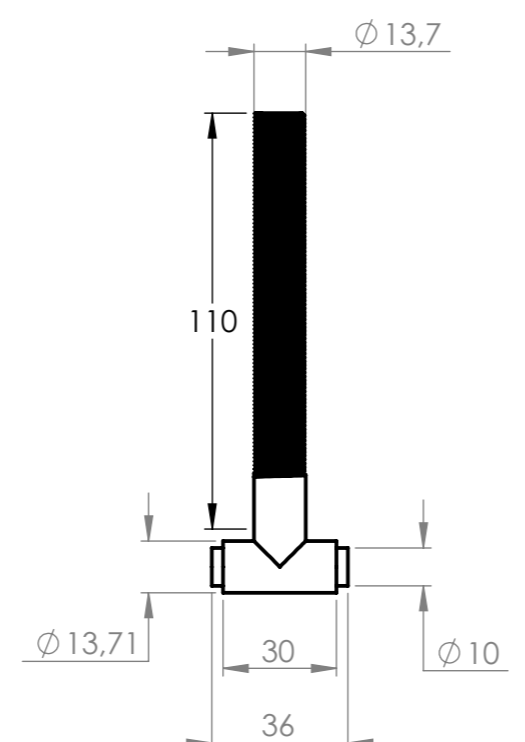
Latón de Manivela



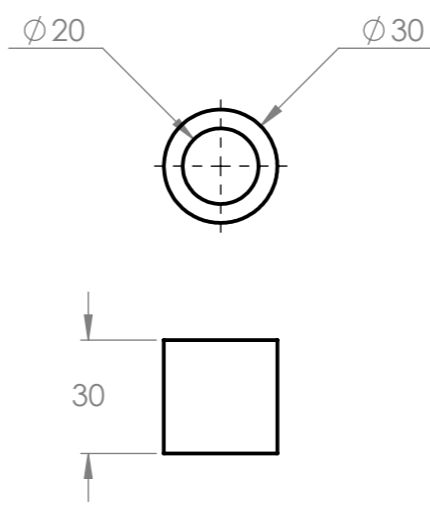
Manivela de Cerradura



Perno de Cerradura



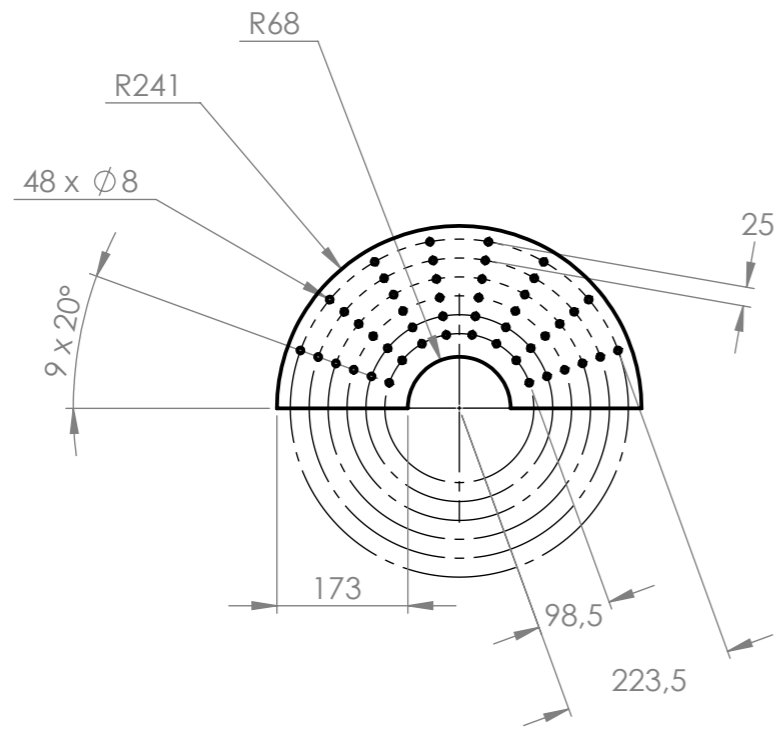
Acople de Neplo



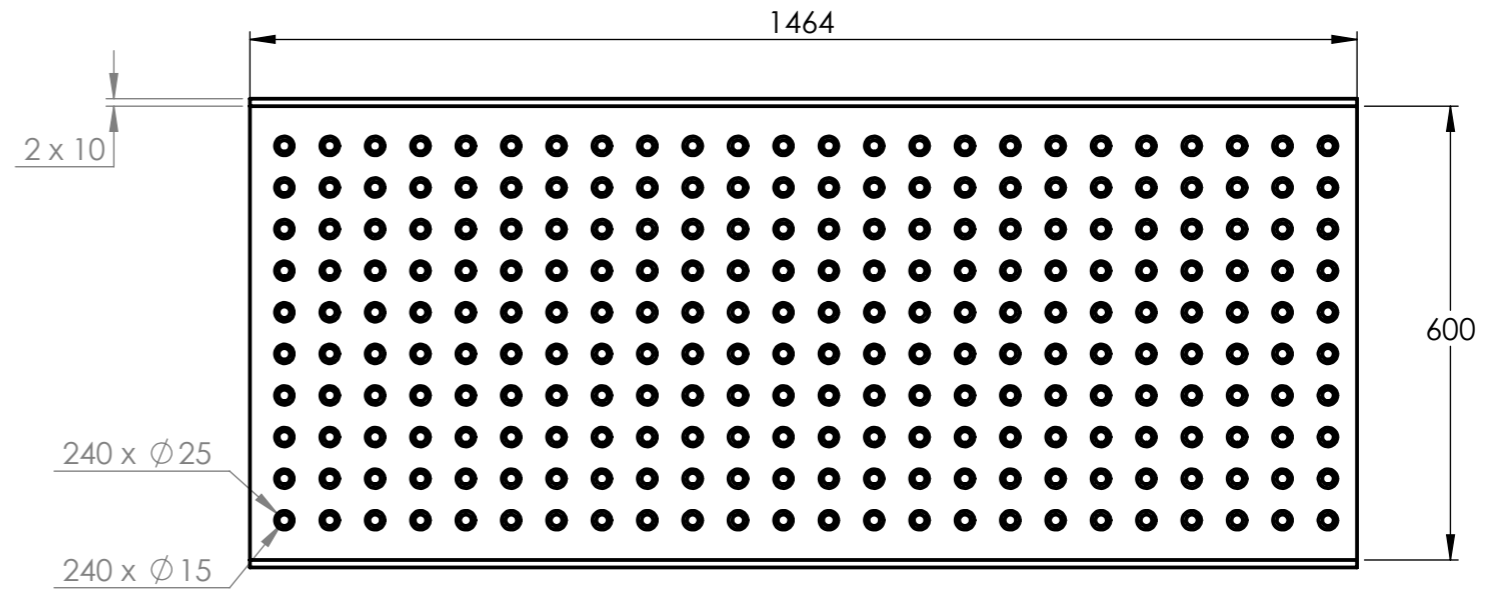
ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL
Bisagra de la Tapa	1	AISI 304
Bisagra del Envoltente	1	AISI 304
Bisagra de Cerradura	1	AISI 304
Seguro de Tapa	1	AISI 304
Manivela de Cerradura	1	AISI 304
Perno de Cerradura	1	AISI 304
Acople de Neplo	2	AISI 304
Latón de Manivela	1	Cobre

TOLERANCIA: ±0,1				PESO: 2,8 kg		MATERIAL: Acero Inoxidable AISI 304 y Cobre	
FECHA: 05/01/2023				NOMBRE: Adrian Guanin		TÍTULO: Accesorios del tanque	
DIBUJÓ: 05/01/2023				REVISÓ: 05/01/2023		ESCALA: 1:2	
APROBÓ: 05/01/2023				Ing. Santiago Cabrera		REGISTRO:	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				N.º DE LÁMINA: 5 de 6		SUSTITUCIÓN:	

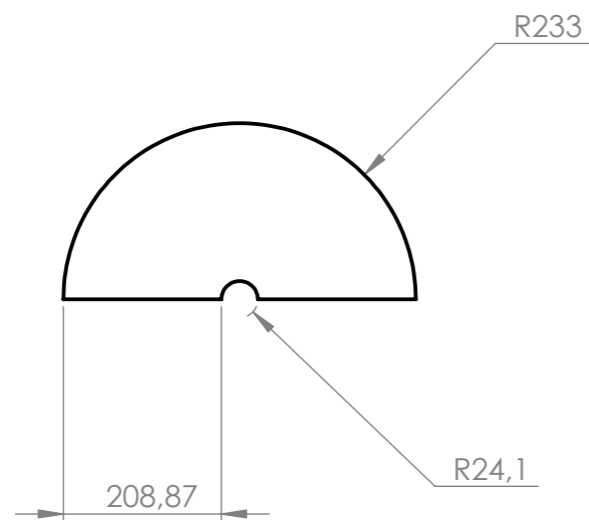
Plancha de la Chaqueta del Cono



Plancha de la Chaqueta del Envoltente



Plancha del Cono



N.º	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ESPELOR	CANTIDAD
1	Plancha de chaqueta del cono	Acero Inoxidable AISI 304	2 mm	1
2	Plancha de chaqueta del envoltente	Acero Inoxidable AISI 304	2 mm	1
3	Plancha del cono	Acero Inoxidable AISI 304	3 mm	1

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0,1		11,3 kg		Acero AISI 304	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJÓ: 05/01/2023		Adrian Guanin		Planchas de chaquetas y cono	
REVISÓ: 05/01/2023		Ing. Santiago Cabrera		ESCALA:	
APROBÓ: 05/01/2023		Ing. Santiago Cabrera		1:10	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				N.º DE LÁMINA	
EDICIÓN:				6 de 6	
MODIFICACIÓN:				REGISTRO:	
FECHA:				SUSTITUCIÓN:	
NOMBRE:					