

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño de una planta piloto de vino tinto

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Franz Eduardo Much
Mata para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



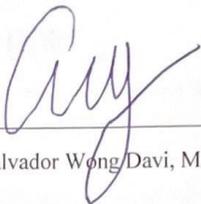
Diseño de una planta piloto de vino tinto

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Franz Eduardo Much
Mata para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

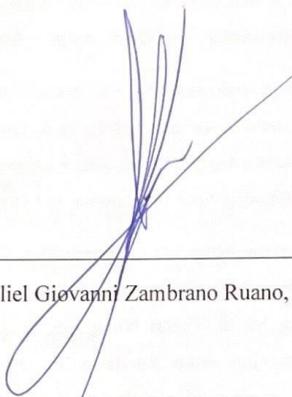
Guatemala,

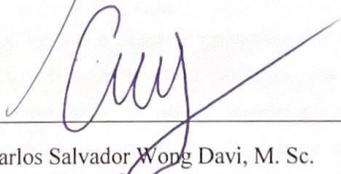
2022

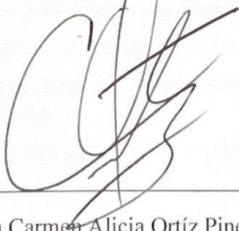
Vo. Bo.:

(f) 
Ingeniero Carlos Salvador Wong Davi, M. Sc.

Tribunal Examinador:

(f) 
Ingeniero Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M. Sc.

(f) 
Ingeniero Carlos Salvador Wong Davi, M. Sc.

(f) 
Ingeniera Carmen Alicia Ortíz Pineda, M. Sc.

Fecha de aprobación: 28 de octubre, 2022.

PREFACIO

En este documento se presenta el trabajo de graduación con el título: “DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE VINO TINTO”. Este trabajo consiste en una propuesta de diseño de una planta piloto partiendo de una base de cálculo para obtener: el balance de masa y energía, fichas de especificación de equipos, costo estimado de los equipos, la distribución y planos de la planta.

El estudio que se presenta se llevó a cabo debido a la problemática de que en Guatemala no se ha desarrollado la industria del vino como lo han hecho otras industrias. Además, se busca plantear un proceso estándar que pueda ser escalado a una planta industrial y que, además, sea un proceso continuo. También se discute acerca del impacto que tuvo la pandemia de COVID-19 en el costo de los equipos y transporte.

Agradezco a mis catedráticos que me transmitieron sus conocimientos a lo largo de la carrera a través de los cursos que impartieron, los cuales aplicaron de manera directa a mi trabajo de graduación. Agradezco a mi asesor, Ing. M. Sc. Carlos Wong, por su apoyo y guía al realizar este trabajo. También agradezco a los catedráticos: Ing. Jaime Rosales e Ing. Alejandro König por los conocimientos que me transmitieron en sus cursos ya que me fueron de gran ayuda para poder elaborar este documento.

Agradezco a mis amigos por su apoyo a lo largo de la carrera y su amistad a través de los años, específicamente a: Dario Figueroa, Diego Barrera, Julio Déleon, Marcos Padilla y Mariana Guzmán. También agradezco a mis compañeros del equipo de fútbol americano, de igual manera por su apoyo y motivación para poder terminar de redactar este trabajo. Finalmente agradezco a mi familia, a mis padres: Ortencia Mata de Much y Zenon Much Santos por permitirme estudiar lo que fuera de mi agrado, su apoyo emocional y económico para poder terminar este trabajo. A mis hermanos: Edward Much y Junior Much por su apoyo al elaborar este trabajo. Finalmente, agradezco a mi gato por ser un soporte emocional para mi persona y para que de esta manera quede plasmado su legado en este trabajo.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	2
III.	JUSTIFICACIÓN	3
IV.	MARCO TEÓRICO.....	5
A.	HISTORIA DEL VINO	5
B.	ENOLOGÍA.....	10
C.	PROCESO DEL VINO.....	17
D.	OPERACIONES UNITARIAS	25
E.	OPERACIONES REALIZADAS EN EL PROCESO	46
F.	DIAGRAMAS DE FLUJO, INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS	47
G.	MERCADO EN EL MUNDO	52
H.	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	55
V.	ANTECEDENTES	58
VI.	METODOLOGÍA	59
VII.	RESULTADOS.....	60
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
IX.	CONCLUSIONES	84
X.	RECOMENDACIONES.....	85
XI.	BIBLIOGRAFÍA	86
XII.	ANEXOS	90
A.	DATOS ORIGINALES	90
B.	CÁLCULOS DE MUESTRA	97
C.	DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN.....	108
D.	FOTOGRAFÍAS DEL SITIO	114
XIII.	GLOSARIO	117

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Fases en contacto y operaciones de masa relacionadas	36
Cuadro 2. Procesos relacionados con la elaboración de vino.....	46
Cuadro 3. Simbología de equipos utilizados en diagramas	50
Cuadro 4. Simbología utilizada para los planos de instrumentación y tuberías	51
Cuadro 5. Flujos (en masa) para diagrama de proceso teórico de elaboración de vino.....	57
Cuadro 6. Flujos para el diagrama de proceso de elaboración de vino	62
Cuadro 7. Flujos para el diagrama de proceso de refrigeración	64
Cuadro 8. Estimación de costo de equipos.....	75
Cuadro 9. Estimación de accesorios e instrumentación del proceso	75
Cuadro 10. Comparación de costos de bomba centrífuga	75
Cuadro 11. Composición del producto terminado (vino maduro).....	90
Cuadro 12. Composición de materia prima.....	90
Cuadro 13. Rendimientos de la fermentación alcohólica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y sacáridos.....	91
Cuadro 14. Parámetros cinéticos de la fermentación alcohólica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y sacáridos.....	91
Cuadro 15. Parámetros para determinar el valor de equipos.....	92
Cuadro 16. Propiedades de saturación de dióxido de carbono a 0.85 bar	92
Cuadro 17. Propiedades de vapor sobrecalentado de dióxido de carbono a 7 MPa	93
Cuadro 18. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero	94
Cuadro 19. Coeficientes de pérdida de fricción en accesorios y válvulas.....	95
Cuadro 20. Rugosidad de tipos de tuberías	95
Cuadro 21. Valores de coeficientes de transferencia de calor	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de las variedades masculinas, femeninas y bisexuales producidas por la <i>Vitis vinífera</i>	10
Figura 2. Granja de tanques de fermentación.....	22
Figura 3. Fermentadores abiertos.....	23
Figura 4. Fermentador rotativo.....	24
Figura 5. Fermentador estático cerrado.....	24
Figura 6. Ciclo de refrigeración.....	43
Figura 7. Diagrama de bloques teórico del proceso de elaboración de vino.....	55
Figura 8. Diagrama de flujo teórico del proceso principal de elaboración de vino.....	56
Figura 9. Balance de masa y energía del proceso representado en un diagrama de bloques.....	60
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de vino.....	61
Figura 11. Diagrama de flujo del ciclo de refrigeración.....	63
Figura 12. Ficha de especificación del equipo de prensado.....	65
Figura 13. Ficha de especificación del equipo de fermentación (reactor).....	66
Figura 14. Ficha de especificación del equipo de centrífuga.....	67
Figura 15. Ficha de especificación del tanque de producto terminado.....	68
Figura 16. Ficha de especificación de la bomba centrífuga.....	69
Figura 17. Ficha de especificación de intercambiador de calor.....	70
Figura 18. Ficha de especificación del ciclo de refrigeración.....	72
Figura 19. Ficha de especificación de tanque de almacenamiento de propileglicol – agua.....	73
Figura 20. Ficha de especificación de tanque de almacenamiento de R744.....	74
Figura 21. Plano de vista de planta de la distribución de equipos de la planta.....	76
Figura 22. Plano de vista de elevación de la distribución de equipos de la planta.....	77
Figura 23. Vista isométrica a 45° de la distribución de equipos de la planta.....	78
Figura 24. Número de potencia N_P frente a N_{RE} para turbina de seis palas.....	96
Figura 25. Diagrama de tubería e instrumentación: Equipo de prensado.....	108
Figura 26. Diagrama de tubería e instrumentación: Intercambiador de calor.....	109
Figura 27. Diagrama de tubería e instrumentación: Fermentador (reactor).....	110
Figura 28. Diagrama de tubería e instrumentación: Centrífuga.....	111
Figura 29. Diagrama de tubería e instrumentación: Tanque de producto terminado.....	112
Figura 30. Diagrama de tubería e instrumentación: Ciclo de refrigeración.....	113
Figura 31. Viña ubicada en el lugar.....	114
Figura 32. Equipos disponibles en la bodega.....	115
Figura 33. Vid en fase de fructificación.....	116

RESUMEN

Existen evidencias que sugieren que la elaboración del vino data de hace más de 7500 años. Los primeros residuos de vino provienen de hace más de 4500 años a.c., aunque no fue la primera bebida fermentada en realizarse (ya que existe evidencia que las primeras fueron realizadas con miel, arroces y frutas), se determinó que esta bebida era vino debido a los rastros de ácido tartárico y algunos taninos presentes en las uvas. Hasta la fecha este es uno de los productos más consumidos a nivel mundial. El objetivo principal del trabajo es poder elaborar el diseño de una planta de piloto de vino tinto, para este se determinó una base de cálculo de 900 L (o 972 kg) de producto terminado. Se obtuvieron como principales resultados: el balance de masa y energía (figura 9), los diagramas de flujo (figuras 10-11 y cuadros 6 y 7), las fichas de especificaciones de los equipos (figuras 12 a 20), el costo de los equipos que se estima tendrá un valor de \$ 524 706.47 y los planos de la distribución de equipos de la planta (figuras 21 y 22). Se cumple el objetivo principal del trabajo ya que se realiza el diseño de la planta piloto de vino tinto. Se recomienda elaborar un análisis económico más profundo para poder cubrir lo que este trabajo no abarcó durante su realización, también se recomienda evaluar alternativas para los subproductos del proceso ya que estos pueden ser utilizados como ingresos ajenos al principal enfoque de la planta.

I. INTRODUCCIÓN

El vino es uno de los productos con mayor historia y que se mantiene hasta la fecha. A lo largo del tiempo también se ha mantenido su proceso de elaboración para poder mantener las características que lo hacen apetecible al mercado. Lamentablemente en muchas plantas no se ha actualizado el proceso y esto hace que los rendimientos sean menores y no se mantenga el mismo control en todos los lotes (Waterhouse *et al.*, 2016).

El vino es consumido a nivel mundial, pero se produce principalmente en países cercanos al mar Mediterráneo. Algunos de los principales productores son: Francia, Italia, España, Portugal, Grecia, Alemania, entre otros países. La producción de la materia prima, la uva, es una de las más importantes a nivel mundial, para el año 2002 se tiene un registro de aproximadamente 62 millones de toneladas métricas, a comparación de otras frutas (Jackson, 2008).

El vino tiene una gran variedad de compuestos, pero los que se encuentran en mayor proporción es el agua y etanol, pero para el sabor básico, se depende de 20 o más componentes que pueden variar dependiendo de la cantidad del vino. Estos compuestos no son específicos del vino, de igual manera se puede encontrar en otros productos como: café, cerveza, pan, especias, entre otros (Waterhouse *et al.*, 2016).

Este trabajo consiste en la propuesta de una planta de piloto de vino tinto, esto con la finalidad que pueda ser utilizada como base para la creación de una, también que sea de utilidad para investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren el proceso. Todos los datos utilizados en el trabajo se extrajeron de la literatura y con ellos se realizaron todos los pasos para la elaboración del diseño de la planta.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

1. Elaborar el diseño de una planta piloto de vino tinto a partir de datos teóricos y antecedentes de otras plantas para su uso en investigación.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar el balance de masa y energía del proceso a partir de una base de cálculo para determinar la cantidad de materia prima, para su uso posterior en el dimensionamiento de los equipos.
2. Elaborar las fichas de especificación técnica de los equipos a partir del balance de masa y energía para determinar su costo teórico y comparar con cotizaciones.
3. Realizar la distribución de la planta a partir de literatura y antecedentes de otras plantas para poder elaborar los planos de vista de planta y elevación de la planta en un software tipo CAD.

III. JUSTIFICACIÓN

El mercado y producción de bebidas alcohólicas en Guatemala está controlada por tres grandes compañías, Cervecería Centro Americana S.A, esta se encarga de la fabricación y venta de al menos 12 marcas de cerveza, bebidas alcohólicas e importación de varias. También se tiene la entrada del conglomerado belga-brasileño AmBev, que establece su sociedad con CBC, una empresa multilatinas que abarca toda Latinoamérica trabajando como la embotelladora de PEPSICO. Esta se encarga de la producción de bebidas preparadas, así como la producción local de cerveza e importación de varias cervezas internacionales de origen mexicana como belga. La tercera empresa es Industrias Licoreras de Guatemala, esta se encarga de la fabricación de más de 20 marcas, en este caso, de bebidas alcohólicas siendo su principal producto el ron (con alto reconocimiento a nivel mundial) (ICEX, 2019).

En términos de importación, Distribuidora Marte y Alcazarén son los principales en relación con bebidas alcohólicas, estas dominan el mercado de vinos. Para estos importadores no se posee datos desglosado (ICEX, 2019).

El vino no es un producto que se maneja de manera tradicional en el país, pero sí de cerveza y ron que son los productos más consumidos de la región. Se ha observado el crecimiento año con año de las importaciones de vino, estas han sido de manera constante. El mercado objetivo son los consumidores que viven en áreas urbanas y pertenecen a la clase media-alta con disposición a consumir una bebida más sofisticada como lo es el vino (ICEX, 2019).

Según datos del BANGUAT, la importación de vino ha tenido un crecimiento constante, entre el año 2017 y 2018 se observó un crecimiento del 5.2% en el mercado. Basado en estudios de mercado realizados por Euromonitor, se puede observar que las ventas en supermercados y tiendas especializadas representan 63% de venta en el país, mientras que bares y restaurantes representan el 37% restante (ICEX, 2019).

Como se menciona, el mercado de vino ha tenido un crecimiento constante, durante los años 2014-2018 ha registrado un incremento mayor al 13%. Siendo estos provenientes de Chile, España (siendo los dos principales), Argentina, Italia y Francia. La mayor importación es proveniente de Chile que representa un 32% del mercado local con un valor de aproximadamente cuatro millones de dólares americanos y España con un 28%. Con un valor de tres millones de dólares americanos (ICEX, 2019).

Vale la pena recalcar que el mercado de bebidas alcohólicas en Guatemala está fuertemente centrado en la cerveza con una cuota del mercado entre 75-80%, le siguen los licores, estos representan un 15%, en el caso de vino este solo representa entre un 3 y 5% del volumen de bebidas alcohólicas. Vale la pena recalcar que el consumo del vino está en crecimiento y el pronóstico indica que seguirá de esta manera. Este crecimiento está fuertemente vinculado a los esfuerzos que diferentes organizaciones han realizado para dar a conocer la calidad de productos (ICEX, 2019).

El análisis demográfico consiste en un consumidor medio con edades entre 26 y 65 años, siendo la edad mínima de consumo legal de alcohol a los 18 años. Un estudio de la Universidad del Valle de Guatemala indica que el primer consumo (según la media) se realiza a los 15 años. En caso de géneros, hombres y mujeres consumen vino, aunque los hombres tienden a consumir más (ICEX, 2019).

El consumidor promedio desconoce el acerca del vino y es muy poco probable que pueda diferenciar entre las diferentes variedades que existen, así como cepas, cosechas, etc. Aunque los principales consumidores de vino son los adultos mayores de ingresos medio/altos, existe un crecimiento de consumo entre la población más joven (ICEX, 2019).

Los principales vinos de consumo suelen ser vinos de mesa de origen chileno, argentino, español o italiano. Las marcas de primera calidad suelen tener menores ventas en volumen debido a sus precios elevados (ICEX, 2019).

IV. MARCO TEÓRICO

A. HISTORIA DEL VINO

1. **Origen.** El vino tiene un registro arqueológico que se remonta a más de 7.500 años. Los primeros residuos de vino de los que se sospecha proceden de principios a mediados del quinto milenio a.C. en Hajji Firuz Tepe, ubicado en el norte de los montes Zagros de Irán (McGovern et al., 1996). Las pruebas de la cerámica neolítica de Georgia sugieren que la producción contemporánea de vino estaba dispersa por toda la región. Se han descubierto ejemplos más antiguos de bebidas fermentadas (McGovern et al., 2004), pero parecen haberse producido a partir de arroz, miel y fruta (espino y/o uva). Este tipo de bebidas se producían en China ya en el año 7000 a.C. La presencia de residuos de vino se suele identificar por la presencia de residuos de ácido tartárico, aunque se están desarrollando procedimientos adicionales para identificar los residuos de taninos de la uva (Garnier et al., 2003).

La primera prueba de la elaboración intencionada de vino aparece en las representaciones de prensas de vino del reinado de Udimu (Egipto), hace unos 5000 años (Petrie, 1923). También se han encontrado residuos de vino en ánforas de vino claramente identificadas en muchas tumbas del antiguo Egipto, comenzando al menos con el rey Semerkhet - 1ª Dinastía, 2920-2770 a.C. (Guasch-Jané et al., 2004). También han descubierto pruebas de la presencia de vino blanco y tinto en las ánforas encontradas en la tumba del rey Tutankamón (1325 a.C.). La identificación del vino tinto se hizo por la presencia de ácido siríngico, un producto de descomposición alcalina de la malvidina-3-glicósido. La misma técnica se utilizó para establecer el origen de la uva roja de la antigua bebida egipcia Shedeh (Guasch-Jané et al., 2006).

Aunque las uvas fermentan fácilmente, debido a la prevalencia de azúcares fermentables, la levadura del vino (*Saccharomyces cerevisiae*) no es un miembro importante y autóctono de la flora de la uva. El hábitat natural de las cepas ancestrales de *S. cerevisiae* parece ser la corteza y el exudado de savia de los robles (Phaff, 1986). De ser así, el hábito de las vides de trepar a los árboles, como el roble, y la recolección conjunta de uvas y bellotas, pueden haber favorecido la inoculación de las uvas y el jugo de uva con *S. cerevisiae*. El solapamiento fortuito de la distribución de los progenitores de *S. cerevisiae* y *Vitis vinifera* con la difusión de la agricultura en el norte de Anatolia puede haber favorecido el descubrimiento de la viticultura, así como su posterior desarrollo y difusión. Puede que no sea pura coincidencia que la mayoría de las principales bebidas y alimentos fermentados con levadura (vino, cerveza, hidromiel y pan) tengan su origen en Oriente Próximo.

La primera prueba de la relación entre el vino y *Saccharomyces cerevisiae* procede de un ánfora encontrada en la tumba de Narmer, el Rey Escorpión (hacia el 3150 a.C.). La extracción de ADN de una de las ánforas confirmó la existencia de *S. cerevisiae*. El ADN mostró más similitudes con las cepas modernas de *S. cerevisiae* que con las especies estrechamente relacionadas, *Saccharomyces bayanus* y *Saccharomyces paradoxus* (Cavaliere et al., 2003). Esta última se considera el progenitor de *S. cerevisiae*. Las palabras específicas que se refieren a la acción de la levadura comienzan a aparecer hacia el año 2000 a.C. (Forbes, 1965).

El origen del Oriente Próximo y la difusión de la viticultura están respaldados por la notable similitud entre las palabras que significan vino en la mayoría de las lenguas indoeuropeas. La difusión de la agricultura en Europa parece estar asociada a la dispersión de los caucásicos de habla protoindoeuropea (Renfrew, 1989). Además, la mayoría de los mitos del Mediterráneo oriental sitúan el origen de la viticultura en el noreste de Asia Menor (Stanislawski, 1975).

A diferencia de los principales cultivos de cereales de Oriente Próximo (trigo y cebada), las uvas cultivadas desarrollan una extensa población de levaduras en la madurez, aunque rara vez incluyen la levadura del vino (*Saccharomyces cerevisiae*). Apiladas sin atender durante varios días, las células de la uva comienzan a autofermentarse cuando el oxígeno se vuelve limitante. Cuando las bayas se rompen, el jugo de la fruta es rápidamente colonizado por la flora de las levaduras. Éstas continúan la conversión de los azúcares de la fruta en alcohol (etanol). A menos que *S. cerevisiae* esté presente para continuar la fermentación, ésta suele cesar antes de que todos los azúcares se conviertan en alcohol. A diferencia de la población de las levaduras nativas, *S. cerevisiae* puede metabolizar completamente los azúcares fermentables (Jackson, 2008).

De las muchas frutas recolectadas por el hombre, sólo la uva almacena carbohidratos predominantemente en forma de azúcares solubles. Así, la principal fuente de calorías de la uva se encuentra en una forma fácilmente metabolizable por las levaduras del vino. La mayoría de las demás frutas carnosas almacenan los hidratos de carbono en forma de almidón y pectinas, nutrientes no fermentables por las levaduras del vino. La rápida y amplia producción de etanol por parte de *S. cerevisiae* limita rápidamente el crecimiento de la mayoría de las bacterias de la vid y otras levaduras en el jugo de uva. En consecuencia, las levaduras del vino generan condiciones que les dan rápidamente un acceso casi exclusivo a los nutrientes de la uva. El crecimiento posterior de las levaduras es posible después de que los azúcares sean metabolizados, si el oxígeno está disponible (Jackson, 2008).

A diferencia de muchas plantas de cultivo, la vid ha necesitado pocas modificaciones genéticas para adaptarse al cultivo. Sus necesidades de minerales y agua son escasas, lo que le permite prosperar en suelos y laderas inadecuados para otros cultivos alimentarios. Su capacidad para trepar por los árboles y otros soportes permite cultivarla sin apenas cuidados en asociación con otros cultivos. Además, su inmenso potencial regenerativo permite una poda intensa. La poda intensa convirtió a una trepadora rastrera en una planta corta parecida a un arbusto, apta para el monocultivo. La corta estatura de la enredadera minimizó la necesidad de soportes y puede haber disminuido el estrés hídrico en ambientes semiáridos al dar sombra al

suelo. El poder de regeneración y la estructura leñosa de la vid también le ha permitido resistir un considerable daño invernal y seguir teniendo el potencial de producir rendimientos comercialmente aceptables en climas fríos. Esto favoreció la expansión de la viticultura en Europa central y la posterior selección o hibridación con vides autóctonas (Jackson, 2008).

El principal cambio que convirtió la vid salvaje en un cultivo domesticado fue la selección de mutaciones bisexuales. La gran mayoría de las vides silvestres son funcionalmente unisexuales, a pesar de que suelen poseer partes masculinas y femeninas. En varios cultivares, la conversión a la bisexualidad ha implicado la inactivación de un solo gen. Sin embargo, la complejidad de la diferenciación sexual en algunos cultivares (Carbonneau, 1983) sugiere la participación de mutaciones en varios genes.

2. **Importancia del vino:** Desde sus humildes orígenes, la producción de uva se ha convertido en el cultivo de fruta fresca más importante del mundo. La producción mundial de uva en 2002 fue de aproximadamente 62 millones de toneladas métricas. En comparación con los 57, 50 y 43 millones de toneladas de naranjas, plátanos y manzanas, respectivamente. La superficie plantada de vid en 2002 se estima en unos 7.9 millones de hectáreas, frente a un máximo de 10.2 millones a finales de los años setenta. Aproximadamente el 66% de la producción se fermenta para hacer vino, el 18.7% se consume como fruta fresca y el 7.7% restante se seca para hacer pasas (OIV, 2005). El uso varía mucho de un país a otro, a menudo en función de los dictados físicos y político-religiosos (prohibición del vino) de la región. A pesar de su importancia mundial, la vid sólo ocupa un 0.5% de la superficie agrícola y sus productos no constituyen más que el 0.4% del gasto doméstico mundial (Anderson, 2004).

La producción de uva se limita en gran medida a las regiones climáticas similares a las del área de distribución autóctona de *Vitis vinifera*. Esta zona se aproxima al área comprendida entre las isotermas anuales de 10 y 20 °C. Además, el cultivo de la uva se limita en gran medida a las regiones caracterizadas por un clima de tipo mediterráneo. La extensión a entornos más frescos, más cálidos o húmedos es posible cuando las condiciones locales modifican el clima o la práctica vitícola compensa las condiciones menos idóneas. La producción comercial se da incluso en regiones subtropicales, donde la poda severa estimula el crecimiento de la vid durante casi todo el año. En Europa, donde se encuentra el 61% de los viñedos del mundo, alrededor del 77% de la cosecha se transforma en vino. Este último porcentaje es ligeramente inferior en la producción mundial (71%), debido al uso predominante de la uva como cultivo de mesa o de pasas en los países islámicos. Desde la década de 1970, la producción de vino ha oscilado entre unos 250 y 330 millones de hectolitros, siendo los niveles de producción recientes de unos 270 millones de hectolitros. Aunque España es el país con más hectáreas de viñedo, Francia e Italia producen los mayores volúmenes de vino. Juntos, Francia e Italia producen alrededor del 50% del vino mundial, pero suministran alrededor del 60% de las exportaciones mundiales de vino. La creciente importancia económica de la exportación de vino se refleja en parte en el notable aumento de las investigaciones realizadas en todo el mundo (Glänzel y Veugelers, 2006). Varios de los principales países productores de vino, como Argentina y Estados Unidos,

exportan una proporción relativamente pequeña de su producción. En cambio, países como Chile y Portugal exportan la mayor parte de su producción.

3. **Tipos de vino.** Salvo en el sentido más amplio, no existe un sistema generalmente aceptado para clasificar los vinos. Pueden agruparse por su contenido de dióxido de carbono o de alcohol, por su color o por su origen estilístico, varietal o geográfico. Cada uno de ellos tiene sus ventajas e inconvenientes. A efectos fiscales, los vinos suelen dividirse en tres categorías generales: de mesa, espumosos y fortificados. Esta división reconoce diferencias significativas, no sólo en la producción, sino también en el uso. Además, la clasificación por colores proporciona al comprador una indicación aproximada de la intensidad del sabor del vino. El origen estilístico y el geográfico suelen ir de la mano, al menos en muchas denominaciones de origen europeas, proporcionando información adicional sobre las características probables del vino. El origen varietal proporciona más pistas sobre los posibles atributos de sabor del vino. Aunque son útiles, estas fuentes de información no proporcionan al consumidor una información adecuada en la que basar su compra de vino. Sin embargo, sin una clasificación, el lenguaje preciso sería inexistente y, en la mayoría de los casos, imposible. Así pues, por muy inadecuada que sea, la gama de vinos en categorías es una necesidad, a pesar de no existir un sistema sensorial preciso sobre el que pueda racionalizarse la clasificación. De los sistemas de clasificación, los basados en el origen geográfico son los más comunes. Para los consumidores, dan la impresión de ser concretos y permiten una selección de vinos basada en el sesgo regional (Jackson, 2008). Lamentablemente, rara vez proporciona información suficiente o detallada sobre las posibles características de sabor.

a. **Vino de mesa.** Dado que la mayoría de los vinos entran en la categoría de vinos de mesa, ésta es la que requiere el mayor número de subcategorías. La división más antigua, basada en el color, separa los vinos en subgrupos blancos, tintos y rosados. Esta división no sólo tiene la ventaja de haber sido aceptada durante mucho tiempo, sino que también refleja las diferencias de sabor, uso y métodos de producción. Por ejemplo, los vinos tintos son más sabrosos, normalmente más secos y astringentes que los blancos. Por el contrario, los vinos blancos suelen ser más ácidos, de naturaleza floral, y se presentan en una amplia gama de estilos de dulzura. Los rosados se sitúan en un punto intermedio, siendo más ligeros que los tintos, pero más astringentes que los blancos (Jackson, 2008).

Ya que la mayoría de los vinos blancos están destinados a ser consumidos con las comidas, suelen producirse para poseer un carácter ácido. En combinación con las proteínas de los alimentos, el aspecto ácido del vino se equilibra y puede acentuar y armonizar los sabores de la comida. La mayoría de los vinos blancos se someten a una escasa o nula maduración en tonelería de roble. Sólo los vinos con aromas varietales definidos tienden a beneficiarse de una asociación con los sabores del roble. Los que tienen un final dulce suelen estar pensados para ser consumidos solos, como un vino de sorbo, para acompañar o sustituir al postre. La mayoría de los vinos botritizados (de cosecha tardía) y los vinos de hielo entran en esta categoría (Jackson, 2008).

Los vinos tintos modernos son casi exclusivamente secos. La ausencia de un sabor dulce detectable es coherente con su uso previsto como bebida alimenticia. Los compuestos amargos y astringentes que caracterizan a la mayoría de los vinos tintos se unen a las proteínas de los alimentos, produciendo un equilibrio que de otro modo no se desarrollaría. En ocasiones, los vinos tintos bien envejecidos se guardan para disfrutarlos después de la comida. Su menor contenido en taninos obvia la necesidad de la comida para desarrollar la suavidad. Además, el complejo y sutil buqué de los vinos envejecidos suele apreciarse mejor en ausencia de los sabores de la comida (Jackson, 2008).

La mayoría de los vinos tintos que envejecen bien se benefician de una cierta maduración en roble. El almacenamiento en pequeñas barricas de roble (225 litros) suele acelerar la maduración y añadir sabores sutiles. Tras la maduración en barrica, los vinos suelen recibir una crianza en botella en la bodega antes de salir al mercado. Cuando se desea un menor carácter de roble, se utilizan toneles de más de 1 000 litros de capacidad. Alternativamente, el vino puede madurar en depósitos inertes para evitar la oxidación.

b. Vinos espumosos. Los vinos espumosos suelen clasificarse por su método de elaboración. Las tres técnicas principales son la tradicional (champán), la de transferencia y la de granel (Charmat). Todas ellas emplean levaduras para generar el dióxido de carbono que produce la efervescencia. Aunque precisa, la clasificación basada en el método de producción no tiene por qué reflejar diferencias significativas en las características sensoriales. Por ejemplo, los métodos tradicionales y de trasiego suelen tener como objetivo producir vinos secos o semisecos que acentúan la sutileza, limitan el aroma varietal y poseen un buqué tostado. Los vinos espumosos difieren más por la duración del contacto con la levadura y la variedad de uva que por el método de producción. Aunque la mayoría de los vinos elaborados con el método de producción a granel tienden a ser dulces y aromáticos, algunos son secos con fragancias sutiles (Jackson, 2008).

c. Vinos fortificados. Todos los términos aplicados a esta categoría son algo engañosos. Por ejemplo, algunas subcategorías alcanzan sus elevados contenidos de alcohol sin la adición de bebidas alcohólicas destiladas (por ejemplo, los vinos tipo Jerez y Montilla, España). Por tanto, técnicamente no son fortificados. La denominación alternativa de vinos de aperitivo y de postre también presenta problemas. Aunque la mayoría se utilizan como vinos de aperitivo o de postre, muchos vinos de mesa se utilizan de forma similar. Por ejemplo, los vinos espumosos suelen considerarse el aperitivo por excelencia, mientras que los vinos botritizados pueden ser un vino de postre numinoso (Jackson, 2008).

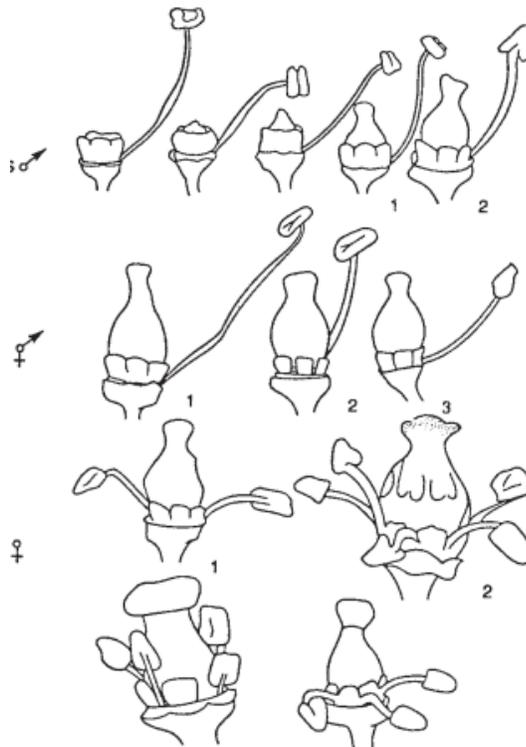
Independientemente de la denominación, los vinos de esta categoría suelen consumirse en pequeñas cantidades y rara vez se consumen por completo poco después de abrirse. Su alto contenido de alcohol limita el deterioro microbiano, y su marcado sabor y resistencia a la oxidación les permite a menudo permanecer estables durante semanas después de su apertura. Estas son propiedades deseables para los vinos que se consumen en pequeñas cantidades. Las excepciones son los Jerez y Oporto con añada. Ambos pierden sus

propiedades distintivas varios meses después del embotellado, o varias horas después de la apertura, respectivamente (Jackson, 2008).

B. ENOLOGÍA

Las vides se clasifican en el género *Vitis*, familia Vitaceae. Otros miembros conocidos de la familia son la hiedra de Boston (*Parthenocissus tricuspidata*) y la enredadera de Virginia (*Parthenocissus quinquefolia*). Los miembros de las Vitaceae suelen tener un hábito trepador, tienen hojas que se desarrollan alternativamente en los brotes y poseen nodos hinchados o articulados. Estos pueden generar zarcillos o racimos de flores frente a las hojas. Las flores son diminutas, uni o bisexuales, y se presentan en grandes racimos. La mayoría de las partes de la flor aparecen en grupos de cuatro y cinco, y los estambres se desarrollan frente a los pétalos. El ovario consta de dos carpelos, parcialmente encerrados por un receptáculo que se convierte en una baya de dos compartimentos. El fruto contiene hasta cuatro semillas. Las Vitaceae son una familia predominantemente tropical a subtropical, que contiene posiblemente más de mil especies, situadas en unos 15 a 16 géneros (Galet, 1988). En cambio, *Vitis* es un género principalmente de zonas templadas, que sólo se da en el hemisferio norte.

Figura 1. Representación gráfica de las variedades masculinas, femeninas y bisexuales producidas por la *Vitis vinífera*.



(Jackson, 2008).

1. El gen *Vitis vinifera*. Las vides se distinguen de los géneros relacionados principalmente por sus características florales. Las flores suelen ser funcionalmente unisexuales, siendo masculinas (poseen anteras funcionales erectas y carecen de un pistilo completamente desarrollado) o femeninas (contienen un pistilo funcional y producen estambres recurvados y polen estéril, o carecen de anteras) (Figura 1). Los pétalos fusionados, llamados caliptra o capuchón, permanecen unidos en el ápice, mientras que se separan a lo largo de la base del receptáculo. Los pétalos se desprenden en la madurez. Sin embargo, en ocasiones los pétalos se separan en la parte superior, mientras permanecen unidos en la base (Longbottom et al., 2004). Estas flores "en estrella" tienen una apariencia más típica de las angiospermas, una situación que se encuentra en algunos miembros de las Vitaceae, como *Cissus*. Los nectarios hinchados se encuentran en la base del ovario. Generan una suave fragancia que atrae a los insectos polinizadores. Los sépalos del cáliz se forman sólo como vestigios y degeneran al principio del desarrollo de la flor. El fruto es jugoso y ácido.

El género se ha dividido normalmente en dos subgéneros, *Vitis* y *Muscadinia*. *Vitis* (uvas de racimo) es el mayor de los dos subgéneros, y contiene todas las especies excepto *Vitis rotundifolia* y *Vitis popenoi*. Estas dos últimas especies se incluyen en el subgénero *Muscadinia*. Los dos subgéneros son lo suficientemente distintos como para que algunos taxónomos separen las uvas muscadinas en su propio género, *Muscadinia* (Jackson, 2008).

No está claro dónde y cuándo evolucionó el género *Vitis*. La distribución actual de las especies de *Vitis* incluye el norte de Sudamérica (las tierras altas andinas de Colombia y Venezuela), América Central y del Norte, Asia y Europa. En cambio, las especies del subgénero *Muscadinia* se limitan al sureste de Estados Unidos y al noreste de México (Jackson, 2008).

Baranov (en Zukovskij, 1950) sugiere que las formas ancestrales de *Vitis* eran arbustivas y habitaban en lugares soleados. A medida que los bosques se expandieron durante el Eoceno más húmedo, el desarrollo de un hábito de crecimiento trepador permitió a *Vitis* mantener su preferencia por las condiciones soleadas. Esto puede haber implicado mutaciones que modificaron algunos racimos florales en zarcillos, mejorando así la capacidad de trepar. Esta hipótesis posee mucho sentido, ya que la diferenciación del tejido de las yemas en racimos florales o zarcillos se basa simplemente en el equilibrio de giberelinas y citoquininas (Srinivasan y Mullins, 1981).

Los cultivares de vid muestran pocos de los signos estándar de domesticación de plantas (Baker, 1972). Se podrían resumir de la siguiente manera: conversión a autofecundación, no necesidad de vernalización de semillas y yemas, plasticidad fenológica (pérdida de la regulación por el fotoperiodo), dehiscencia del fruto o de la semilla al madurar, Parthenocissus (producción del fruto independiente del desarrollo de la semilla), aumento de la proporción entre brotes y raíces, aumento del tamaño del fruto (o de la semilla), aumento del rendimiento de la cosecha, reducción de la producción de fitotoxinas (si la hay), conversión a hábito anual.

De éstos, sólo la conversión a la autofertilidad es característica de las vides domesticadas. Otros atributos domesticados son menos marcados. Por ejemplo, la ligera reducción de la sensibilidad al fotoperiodo y la necesidad de vernalización; la facilidad de dehiscencia del fruto; el aumento del tamaño del fruto (sobre todo en las uvas de mesa); y la ausencia de semillas en algunos cultivares de uva de mesa y de pasas. Otras características que tienden a diferenciar las vides silvestres de las domesticadas son el cambio de bayas pequeñas y redondas a frutos más grandes y alargados; la separación de la corteza en tiras más anchas y coherentes con el núcleo (frente a la separación de la corteza en tiras largas y finas); las semillas más grandes y alargadas (frente a las semillas pequeñas y redondeadas); y las hojas grandes con senos enteros o poco profundos (frente a las hojas pequeñas, normalmente con tres lóbulos profundos) (Olmo, 1976).

2. Cultivares de *Vitis vinifera*. Debido al gran número de cultivares con nombre, sólo se comentan aquí algunas de las variedades más conocidas. Aunque a menudo son mundialmente famosas, estas variedades rara vez constituyen las principales variedades cultivadas, incluso en su país de origen. Su productividad suele ser menor y su cultivo suele ser más exigente. Su reputación suele deberse a que producen vinos varietales y equilibrados con un gran potencial de envejecimiento. En lugares favorables, sus excelentes propiedades vinícolas compensan la reducción del rendimiento y el aumento de los costes de producción (Jackson, 2008).

a. Cultivares rojos. La Barbera es la variedad más cultivada en el Piamonte y es muy importante en el resto de Italia. Es la tercera variedad más cultivada en Italia, después de la Sangiovese y la Trebbiano Toscano. Fuera de Italia, se planta principalmente en California y Argentina. Su rendimiento es moderado y produce frutos de color intenso, con una acidez elevada y un contenido moderado de taninos. Los racimos tienen tallos largos y verdes, lo que facilita la recolección mecánica y manual. El cultivo tampoco es complicado, debido a su adaptabilidad a diferentes suelos. La Barbera puede dar lugar a un vino varietal y afrutado, pero se suele mezclar con otros cultivares para añadir acidez y fruta a los vinos con un pH elevado. En cuanto a la susceptibilidad a las enfermedades, la Barbera es especialmente sensible al enrollamiento de la vid. Algunos clones se ven gravemente afectados por la podredumbre del racimo (Jackson, 2008).

El Cabernet Sauvignon es sin duda el cultivar tinto más conocido. Esto se debe tanto a su asociación con uno de los vinos tintos más conocidos de Europa (Burdeos) como a su producción de vinos igualmente magníficos en muchas partes del mundo. En condiciones óptimas, produce un vino fragante con aroma a grosella negra (descrito como violeta en Francia). En condiciones menos favorables, genera un aroma a pimienta de campana. Las bayas son pequeñas, ácidas, con semillas, y poseen una piel dura y de pigmentación oscura. Este cultivar se poda con frecuencia para acentuar la producción y proporcionar una mejor exposición al sol a sus brotes verticales. La fácil separación de las pequeñas bayas redondas del racimo facilita la recolección mecánica. El cultivar es muy susceptible a varias enfermedades fúngicas, en particular a las pudriciones de la madera Eutypa y Esca, al oídio y a la Phomopsis. Las técnicas de huella de ADN indican que el Cabernet Sauvignon es el resultado de un cruce de Cabernet Franc y Sauvignon blanc (Bowers y

Meredith, 1997). En Burdeos, y cada vez más en otras regiones, los vinos elaborados con Cabernet Sauvignon se mezclan con vinos producidos a partir de otros cultivares afines, como Cabernet Franc y Merlot. Estos últimos moderan el contenido de taninos y aceleran la maduración (Jackson, 2008).

El Merlot tiene la ventaja de crecer en suelos más frescos y húmedos que el Cabernet Sauvignon, pero es más susceptible al coulure. La tendencia del Merlot a madurar más rápidamente lo ha convertido en un popular sustituto del Cabernet Sauvignon. La Ruby Cabernet es un cruce de Davis entre Carignan y Cabernet Sauvignon. Posee un aroma a Cabernet, pero crece mejor en climas cálidos que la Cabernet Sauvignon (Jackson, 2008).

El Pinot noir es la famosa uva tinta de Borgoña. Parece ser una de las variedades más sensibles al medio ambiente y consta de un gran número de clones distintivos. Los mutantes del color de la fruta han dado lugar a el Pinot gris y a el Pinot blanc. La Meunier es otra variante del Pinot noir con nombre propio. Por lo general, los clones más postrados y de menor rendimiento producen vinos más sabrosos. Los clones erguidos y de mayor rendimiento son más adecuados para la producción de vinos rosados y espumosos. El Pinot noir produce un vino aromáticamente distintivo en condiciones óptimas; de lo contrario, produce vinos no distintivos. Varios autores han propuesto términos para su aroma, como remolacha, menta o cerezas, pero ninguno parece apropiado. El cultivar produce pequeños racimos de frutos de tamaño pequeño o mediano con semillas grandes. Si los racimos son compactos, es especialmente sensible a la podredumbre del racimo. Cruzada con Cinsault, ha dado lugar a uno de los cultivares sudafricanos más característicos, Pinotage. El cultivar californiano Gamay Beaujolais es un clon de Pinot noir (Bowers et al., 1993).

b. Cultivares blancos. El Chardonnay es sin duda la variedad blanca francesa más cultivada. Ello se debe tanto a su atractiva fragancia frutal como a su capacidad para desenvolverse bien en la mayoría de las regiones productoras de vino. Además de producir buenos vinos de mesa, también produce uno de los mejores vinos espumosos (champán). El fruto es comparativamente pequeño, redondo y forma racimos compactos. En condiciones óptimas, el vino desarrolla aspectos que recuerdan a varias frutas, como la manzana, el melocotón y el melón. La cepa y el fruto están predisuestos al oídio y a la podredumbre del racimo (Jackson, 2008).

El Sauvignon blanc es una de las principales variedades blancas de Burdeos y el principal cultivar blanco del Alto Valle del Loira. En los últimos años se ha hecho popular en California y Nueva Zelanda. También se cultiva en el norte de Italia y en el este de Europa. A menudo, su aroma muestra elementos de pimientos verdes, así como un aspecto herbáceo, especialmente en climas más fríos. Los mejores clones poseen un carácter sutilmente floral. Sus modestos racimos producen pequeñas bayas que son sensibles al oídio y a la podredumbre negra, pero poseen una resistencia parcial a la podredumbre del racimo y al mildiu (Jackson, 2008).

3. **Prácticas en el viñedo.** El final de un ciclo de crecimiento y la preparación para otro coinciden en las regiones templadas con el inicio del letargo invernal. El letargo invernal ofrece a los

viticultores la oportunidad de realizar muchas de las actividades menos urgentes del viñedo para las que no hubo tiempo durante la temporada de crecimiento. Además, la poda se lleva a cabo con mayor comodidad cuando la vid está inactiva, y la ausencia de follaje permite seleccionar la madera y atar los sarmientos con mayor facilidad (Jackson, 2008).

Con el regreso del clima cálido, tanto la actividad metabólica de la vid como el ritmo de los esfuerzos del viñedo se aceleran. Por lo general, el primer signo de actividad renovada es el "sangrado" de la savia de los extremos cortados de los sarmientos o de los espolones. La savia contiene componentes orgánicos como azúcares y aminoácidos, así como reguladores del crecimiento, nutrientes inorgánicos y trazas de otros compuestos orgánicos. Esto se refleja en un marcado descenso de las reservas de carbohidratos en las raíces y el tronco (Bennett et al., 2005). Entre el estallido de la yema y el 50% de la floración, las reservas de almidón y azúcar de las raíces pueden disminuir un 42% y un 72%, respectivamente. Los azúcares solubles del tronco pueden disminuir un 92% durante el mismo periodo. Estos niveles suelen volver a la normalidad en la caída de las hojas. Cuando la temperatura se eleva por encima de un valor crítico, que depende de la variedad, las yemas comienzan a estallar. La activación progresa hacia abajo desde las puntas de las cañas y los espolones, ya que el floema vuelve a ser funcional. Posteriormente, el cambium reanuda su actividad meristemática y produce nuevo xilema y floema hacia el interior y el exterior, respectivamente.

La práctica de la viticultura está dirigida principalmente a obtener el máximo rendimiento de la calidad deseada. Uno de los principales medios para lograr este objetivo es la formación y la poda. Por ello, se han analizado ampliamente durante el último siglo y se han estudiado empíricamente durante milenios. El resultado es una desconcertante variedad de sistemas. Aunque una discusión completa de esta diversidad va más allá del alcance de este trabajo, lo que sigue es un resumen de las fuentes de esta heterogeneidad. Para las descripciones de los sistemas locales de formación y poda, el lector se dirige a las publicaciones gubernamentales regionales, a las universidades y a las estaciones de investigación (Jackson, 2008).

Sin embargo, antes de hablar de la gestión de la vid, conviene definir primero varios términos de uso común. El emparado se refiere al desarrollo de una estructura permanente de la vid y a la localización de la madera de renovación. Su objetivo es situar el crecimiento de los sarmientos en lugares favorables. Los espolones de renovación suelen consistir en segmentos de sarmientos cortos, retenidos para generar sarmientos (madera de porte), de los que pueden surgir sarmientos de porte en los años siguientes. Alternativamente, los espolones se utilizan para reposicionar la madera de porte más cerca de la cabeza o del cordón (espolones de sustitución). La formación suele estar asociada a un soporte (espaldera). Lo ideal es que la formación tenga en cuenta factores como el clima imperante, las prácticas de recolección y las características de fructificación del cultivar. La gestión de la copa se considera generalmente como la colocación y el mantenimiento de los sarmientos en crecimiento y sus frutos en un microclima óptimo para la calidad de la uva, la iniciación de las inflorescencias y la maduración de los sarmientos. La poda puede consistir en la eliminación selectiva de los sarmientos, los brotes, la madera y las hojas, o en el corte de las raíces para conseguir los objetivos de formación y gestión de la copa. Sin embargo, la poda se refiere más

comúnmente a la eliminación de los brotes innecesarios al final de cada año de crecimiento. El aclareo comprende la eliminación de racimos de flores y frutos enteros o parciales para mejorar el microclima de las bayas y el equilibrio entre superficie foliar y frutos. Por último, el vigor se refiere a la tasa y la extensión del crecimiento vegetativo, mientras que la capacidad denota la cantidad de crecimiento y la capacidad de la vid para madurar la fruta (Jackson, 2008).

La relación rendimiento/calidad es fundamental para la gestión de la viña. Ésta es en gran medida una función de la superficie fotosintética (cm^2) respecto a la masa de fruta (g) que soporta la vid. Proporciona una medida de la capacidad de la vid para madurar una cosecha. La relación superficie foliar/fruto (SF/F) está relacionada con el concepto más conocido de rendimiento por hectárea. La relación SF/F se centra directamente en la relación fundamental entre la oferta y la demanda de energía y carbono orgánico (Jackson, 2008).

4. **Selección del sitio y clima.** La opinión de que la vid necesita sufrir para producir frutos de calidad está muy arraigada en el folclore vinícola. Si se interpreta como un vigor restringido de la vid, un desarrollo de la copa abierta y un rendimiento de la fruta acorde con la capacidad, el concepto de sufrimiento de la vid tiene algo más que un elemento de verdad. Las regiones en las que las condiciones locales han tendido a producir estos resultados han llegado a destacar por sus vinos de mayor calidad. Además, los viticultores y bodegueros han llegado a reconocer las prácticas del viñedo que potencian estas tendencias naturales. También se ha comprendido que los lugares pueden poseer propiedades indeseables que las prácticas vitícolas no pueden compensar. Estos aspectos beneficiosos y perjudiciales del suelo, la topografía, el microclima y el macroclima constituyen ahora la base para la elección de emplazamientos vitícolas favorables. Este conocimiento permite a los viticultores no sólo producir uvas de mejor calidad en las regiones vitivinícolas tradicionales, sino también ampliar racionalmente la producción a nuevas zonas vitícolas (Jackson, 2008).

De las influencias climáticas, el tipo de suelo parece ser el factor menos significativo que afecta a la calidad de la uva y del vino (Rankine et al., 1971), o estar poco correlacionado con las características del vino (Morlat et al., 1983). Las influencias del suelo tienden a expresarse indirectamente a través de características como la retención de calor, la capacidad de retención de agua y el estado nutricional. Por ejemplo, el color del suelo y su composición textural afectan a la absorción de calor por parte del suelo y, por tanto, a la maduración de la fruta y a la protección contra las heladas. Por lo tanto, al hablar del suelo y de sus efectos en el crecimiento de la vid, es importante distinguir entre las distintas propiedades fisicoquímicas del suelo: su textura, estructura de los agregados, disponibilidad de nutrientes, contenido orgánico, profundidad efectiva, pH, drenaje y disponibilidad de agua. Es probable que la uniformidad de las condiciones del suelo sea más importante que cualquiera de estas propiedades por separado. La variabilidad del suelo es una de las principales causas del desarrollo asincrónico de las bayas y de la menor calidad del vino.

Al igual que los datos sobre los atributos del suelo, gran parte de la información sobre la influencia de la pendiente en la calidad de la uva es circunstancial. No obstante, los efectos tienden a hacerse más evidentes con el aumento de la latitud y la altitud. Las influencias beneficiosas de los emplazamientos orientados hacia el sol en el microclima incluyen una mayor exposición a la radiación solar fotosintética y térmica, un calentamiento más temprano del suelo, una menor gravedad de las heladas y un mejor drenaje. En el caso de la vid, el potencial fotosintético puede aumentar, la maduración del fruto se adelanta, el color de la baya y el equilibrio azúcar-ácido mejoran, y la temporada de crecimiento se prolonga. Las desventajas microclimáticas incluyen un mayor potencial de erosión del suelo, pérdida de nutrientes, estrés hídrico y pérdida temprana de la capa de nieve. Se incrementa la posibilidad de que la corteza se parta durante el invierno, y la aclimatación al frío puede perderse prematuramente. A medida que aumenta la pendiente, la realización de actividades en el viñedo se hace progresivamente más difícil, llegando a ser imposible la mecanización. El beneficio neto de un emplazamiento en pendiente depende de su inclinación (desviación vertical), del aspecto (orientación de la brújula), de la latitud y del tipo de suelo, así como de las opciones de cultivo y viticultura (Jackson, 2008).

La temperatura anual (isoterma) tiende a disminuir unos 0.5 °C/100 m de altitud. Por lo tanto, la altitud puede afectar significativamente a la maduración de la uva y a la duración de la temporada de cultivo. Normalmente, las altitudes más bajas son preferibles en las latitudes altas, y las más altas son más deseables en las latitudes bajas. La intensidad de la luz, y especialmente de la radiación ultravioleta, aumenta con la altitud. Sin embargo, estas influencias pueden verse modificadas notablemente por el clima local, especialmente por el porcentaje de nubosidad (Jackson, 2008).

La temperatura y el crecimiento de la vid se ven notablemente afectados por la latitud del lugar, a través de su influencia en la periodicidad e intensidad de la radiación solar. Sin embargo, el crecimiento de la vid está igualmente controlado por el ciclo anual de la temperatura. Por ejemplo, la aclimatación al frío está predominantemente influenciada por el enfriamiento de las temperaturas otoñales, y no por el acortamiento del fotoperiodo. Además, la activación de las yemas en primavera no requiere un tratamiento específico de frío, como en la mayoría de las plantas de zonas templadas. La activación de las yemas responde progresivamente a las temperaturas por encima de una temperatura mínima específica del cultivo (Moncur et al., 1989). Por encima de esta temperatura, la rotura de yemas y otras respuestas fenológicas se vuelven cada vez más rápidas, hasta llegar a una temperatura óptima. Este tipo de respuesta sugiere que el control de la temperatura es relativamente no específico, y funciona a través de sus efectos en la forma o flexibilidad de proteínas reguladoras específicas y lípidos de la membrana celular. Esta interpretación se ve reforzada por el aumento no específico de la respiración celular durante la rotura de la yema por una gama diversa de tratamientos (Shulman et al., 1983). Hasta un valor máximo, cada 10 °C de aumento de la temperatura duplica la velocidad de reacción de la mayoría de los procesos bioquímicos. Como las reacciones celulares tienen curvas de respuesta a la temperatura diferentes, la respuesta global de la vid dependerá de los efectos combinados de la temperatura sobre las reacciones individuales implicadas (Jackson, 2008).

C. PROCESO DEL VINO

La producción de vino (vinificación) abarca las técnicas y tecnologías utilizadas en la transformación de la uva en vinos de un estilo determinado, que son muchos. Esto implica principalmente la vinificación (fermentación alcohólica) -la conversión de los azúcares de la uva en alcohol por parte de las levaduras-, pero va acompañada de otros cambios importantes debidos a la extracción y al metabolismo microbiano de una multitud de otros componentes de la uva. En algunos estilos de vino también se promueve una fermentación maloláctica secundaria (FML), que puede ocurrir simultáneamente con la fermentación primaria o de forma secuencial. Además, las técnicas de producción difieren según se utilicen uvas blancas o tintas y según el tipo de vino que se produzca. Existen algunos estilos de vino especiales con etapas de producción únicas. En particular, el vino espumoso implica una etapa de fermentación alcohólica secundaria, o la adición de CO₂ a presión, para introducir la carbonatación (efervescencia) asociada a esta categoría de vino. Otras especialidades comunes son los vinos fortificados, a los que se añade etanol derivado de la uva durante la fase de fermentación primaria (que detiene la fermentación) o una vez secos, lo que aumenta el contenido final de alcohol. Por último, la elaboración del vino no termina después de la fermentación, sino que se realizan una serie de operaciones para clarificar, estabilizar, madurar, envejecer y envasar el vino (Waterhouse *et al.*, 2016).

Las diferencias fundamentales entre la producción típica de vinos blancos y tintos pueden resumirse brevemente como sigue:

- Las uvas blancas se aplastan/despallan y se presan para obtener el zumo y no suelen pasar mucho tiempo en contacto con los sólidos de la uva (es decir, no hay una etapa de maceración).
- Las uvas tintas se aplastan/despallan y el mosto (zumo y sólidos de uva) se somete a maceración y fermentación en presencia de pieles, semillas y zumo.
- Como resultado de lo anterior, la extracción de polifenoles se evita en la mayoría de los casos en los vinos blancos y se fomenta en la producción de vinos tintos.
- En las fermentaciones blancas se utilizan temperaturas más frías para controlar las características aromáticas y las temperaturas más cálidas potencian la extracción de sólidos en los tintos.
- Las fermentaciones blancas excluyen en su mayor parte el oxígeno, mientras que en la elaboración de vinos tintos se fomenta cierta aireación mediante las técnicas de maceración empleadas.
- La mayoría de los vinos tintos se someten a la fermentación maloláctica (FML) y a la incorporación de roble, a diferencia de los vinos blancos, en los que sólo algunos estilos experimentan estos tratamientos.
- Los vinos tintos se someten a un periodo de maduración en depósitos o barricas de roble para favorecer la estabilización del color y la modificación de la sensación en boca.
- Los vinos blancos pueden salir al mercado mucho antes que los tintos, ya que la necesidad de maduración suele ser mayor en el caso de los tintos.

(Waterhouse *et al.*, 2016).

En la mayoría de las bodegas, se supervisan una serie de parámetros durante la elaboración del vino para garantizar un nivel de control de calidad sobre el proceso de producción. Las principales mediciones se refieren a la temperatura, el pH, la acidez titulable, los azúcares residuales, la cinética de fermentación, el nitrógeno asimilable, el alcohol, el SO₂ libre y ligado, el ácido málico y la acidez volátil (Waterhouse *et al.*, 2016).

A diferencia de los vinos tintos, la mayoría de los vinos blancos y rosados se fermentan en ausencia de sólidos de uva (pieles, semillas). Antes de la fermentación, el zumo se prensa y se separa del resto de la materia de la uva. Inmediatamente después del prensado, el jugo es turbio debido a la presencia de pulpa, trozos de piel y otros materiales insolubles en suspensión. La producción de vino blanco de alta calidad requiere la clarificación del zumo antes de la fermentación - los jugos clarificados producen vinos con mayores concentraciones de ésteres afrutados y menores concentraciones de alcoholes superiores y compuestos sulfurosos de bajo peso molecular, entre otros efectos. Sin embargo, una clarificación excesiva dará lugar a fermentaciones lentas o atascadas, y los vinicultores suelen tener como objetivo una pequeña proporción de sólidos en suspensión (por ejemplo, 0.5% en volumen) para garantizar un buen equilibrio de las características de la fermentación (Waterhouse *et al.*, 2016).

1. **Maceración.** La vinificación da lugar a una extracción incompleta y variable de los componentes del hollejo, la pulpa y la semilla, por lo que, incluso cuando se ignora la fermentación y su consiguiente producción de etanol y otros metabolitos, la composición del vino difiere de la composición inicial de la uva. Los enólogos se refieren al proceso de extracción como maceración, una descripción que incluye la manipulación física del mosto, así como la extracción química que resulta de ella. La maceración también puede denominarse contacto con los hollejos, sobre todo cuando se habla de la maceración preferente de corta duración que suele utilizarse para las variedades aromáticas. Para nuestros propósitos, nos centraremos en los productos de extracción no modificados por el metabolismo microbiano, aunque es inevitable hablar de algunos productos transformados. Además, aunque esta sección trata del impacto del proceso de extracción en la composición del vino, en muchos casos la composición inicial de la uva tendrá un mayor efecto que la alteración de las prácticas de maceración, por ejemplo, para explicar las diferencias en los compuestos aromáticos varietales entre cultivares (Waterhouse *et al.*, 2016).

Hay una serie de variables que tienen un impacto importante en el proceso de extracción, siendo el tiempo y la temperatura los que más influyen. Más allá de estos parámetros básicos, la extracción de los componentes de los sólidos de la uva puede mejorarse mediante una serie de procesos químicos y físicos, como los tratamientos enzimáticos, la mezcla, el prensado, el calentamiento, la congelación, los pulsos de alta presión y la aplicación de microondas o incluso los tratamientos con campos eléctricos pulsados (PEF). Estos procesos rara vez son selectivos y dan lugar a una mayor extracción de una serie de compuestos (Waterhouse *et al.*, 2016).

Los principales componentes estudiados en las investigaciones de maceración son los fenólicos, especialmente los taninos condensados y los antocianos. Un proceso de maceración prolongado tras la fermentación aumentará los taninos condensados, pero disminuirá los niveles de antocianinas, y con ello los fenoles totales aumentan o se mantienen en su nivel. Los polisacáridos, un factor a menudo ignorado pero importante, también aumentan con el incremento del tiempo de maceración. La extracción de otras sustancias también dependerá de las condiciones de maceración, y muchos de estos casos se mencionan cuando se dispone de datos (Waterhouse *et al.*, 2016).

La termovinificación consiste en calentar los mostos blancos o tintos y prensarlos antes de la fermentación, y es un tratamiento habitual en algunas zonas. Una de sus principales aplicaciones es la disminución de la carga microbiana o la inhibición de las enzimas de pardeamiento en los mostos contaminados con mohos, y la inactivación de las enzimas también puede dar lugar a una menor producción de alcoholes C6, aunque otros han informado que la inactivación térmica puede preservar los aldehídos C6 al inactivar las enzimas ADH que reducirían los aldehídos a alcoholes. La termovinificación también tiene un profundo efecto sobre la extracción fenólica en comparación con la maceración tradicional, lo que conduce a una reducción de los taninos cuando el prensado se realiza antes de la fermentación; este enfoque también aumenta el contenido de antocianos, presumiblemente al limitar las reacciones con los taninos que darían lugar a la pérdida de color. Por otro lado, se observan aumentos significativos cuando el prensado se retrasa hasta después de la fermentación. Un efecto secundario de los tratamientos térmicos en comparación con las maceraciones convencionales es un aroma más afrutado debido a un aumento de los acetatos y los ésteres etílicos (hasta un orden de magnitud), aunque no está claro si esto se debe a un menor contenido de sólidos o a una menor exposición al oxígeno durante la fermentación (Waterhouse *et al.*, 2016).

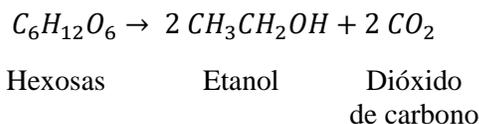
Un enfoque básico para aumentar la extracción es simplemente permitir el contacto entre los sólidos y el jugo antes de que se produzca la fermentación. En el caso del vino blanco, este paso de contacto con los hollejos suele consistir en permitir que las uvas estrujadas permanezcan en contacto con los hollejos durante varias horas antes del prensado y la fermentación. Una de las principales razones para llevar a cabo el contacto con la piel de las uvas blancas es aumentar la extracción de los compuestos aromáticos y sus precursores, pero unas pocas investigaciones han analizado los fenoles de las uvas blancas, mostrando que un remojo en frío aumentaba los flavan-3-oles y los flavonoles, así como los polifenoles totales y los polisacáridos. Sin embargo, las diferencias resultantes sólo tenían un pequeño impacto en el sabor o la sensación en boca. Parece haber un efecto pronunciado del contacto con la piel sobre los volátiles derivados de la uva. Un estudio de Airén demostró que este enfoque aumentó los monoterpenoides en el vino, además de los flavonoles de la piel y de un pequeño aumento de los fenoles de la semilla (Waterhouse *et al.*, 2016).

2. **Fermentación.** La glucólisis se refiere al metabolismo de las hexosas (por ejemplo, fructosa, glucosa) en piruvato. El tema se trata con detalle en los textos de bioquímica, en este trabajo sólo se tratan los aspectos críticos para la química del vino. La levadura utilizará la glucólisis por dos razones (Waterhouse *et al.*, 2016):

- Para generar energía, en forma de trifosfato de adenosina (ATP).
- Para producir compuestos necesarios para el crecimiento y otras funciones fisiológicas, por ejemplo: lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos.

La glucólisis genera un exceso de compuestos reductores, en particular la forma reducida del dinucleótido de nicotinamida adenina (NADH) y los metabolitos relacionados. En condiciones aeróbicas, muchos eucariotas experimentan la respiración, en la que el NADH se convierte de nuevo en su forma oxidada (NAD⁺) mediante un aceptor de electrones externo, normalmente O₂. Este proceso metabólico puede generar una gran cantidad de energía, aproximadamente 36 ATP por azúcar hexosa. Un par redox relacionado, el nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADPH) y su forma oxidada (NADP⁺) puede producirse a través de la oxidación de azúcares de hexosa (vía de la pentosa fosfato). Además de la producción de energía, estos compuestos tienen importantes funciones como reductores, estando el NADH principalmente implicado en el catabolismo y el NADPH en el anabolismo. En la fermentación no interviene ningún aceptor de electrones externo. En los seres humanos y otros mamíferos, el piruvato se reduce para regenerar el NAD⁺ durante la fermentación, produciendo ácido láctico. En la levadura, el piruvato se descarboxila en acetaldehído, que posteriormente se reduce a etanol. La ecuación neta para esta reacción es:

Ecuación 1. Reacción de glucólisis en levadura.



(Waterhouse *et al.*, 2016).

S. cerevisiae puede crecer con un número limitado de carbohidratos, entre los que se encuentran la glucosa, la fructosa, la manosa, la galactosa, la maltosa, la sacarosa y la melibiosa. La glucosa, y en menor medida la fructosa, son los sustratos preferidos por las levaduras para su crecimiento; convenientemente, estos son también los dos principales azúcares del mosto de uva. La presencia de glucosa en el medio provoca cambios importantes en la expresión y el metabolismo de los genes de las levaduras, clasificados como inducción de la glucosa o represión de la glucosa. La inducción de la glucosa da lugar a un aumento de la expresión de las enzimas necesarias para la glucólisis y la fermentación, mientras que la represión de la glucosa da lugar a una disminución de las enzimas necesarias para la respiración (Waterhouse *et al.*, 2016).

Basándose en la ley de los gases ideales y en la estequiometría identificada en la ecuación 1, 1 L de mosto que contiene 200 g de hexosas/kg producirá aproximadamente 55L de gas CO₂ (a 25 °C) cuando se fermenta hasta la sequedad. A medida que este gas se pierde en el medio ambiente, se desprende (arrastra) de los volátiles del mosto en fermentación. La cantidad de un volátil que se pierde por arrastre durante la fermentación puede modelarse a partir de dos funciones (Waterhouse *et al.*, 2016):

- La volatilidad del compuesto, descrita por el coeficiente de la Ley de Henry (H). Generalmente, los compuestos más pequeños y no polares tienen presiones de vapor más altas. Para un compuesto dado, la volatilidad aumentará con temperaturas más altas y disminuirá con concentraciones de etanol más altas (Waterhouse *et al.*, 2016).

- El momento de la formación de un compuesto. Por ejemplo, se espera que un compuesto presente en el mosto inicialmente se pierda en mayor medida que un compuesto formado cerca del final de la fermentación, suponiendo que tengan volatilidades similares.

Las diferencias en las pérdidas por arrastre se explican bien por las diferencias en los coeficientes de la Ley de Henry. Por ejemplo, más del 99% del H₂S altamente volátil ($H = 0.1 \text{ Mbar}^{-1}$) formado durante la fermentación puede perderse por arrastre. En comparación, el 46% del hexanoato de etilo ($H = 3 \text{ Mbar}^{-1}$) y el 0.6% del isobutanol ($H = 100 \text{ Mbar}^{-1}$) se perderán durante una fermentación a 20 °C. El aumento de la temperatura de fermentación a 30 °C incrementará las pérdidas de hexanoato de etilo e isobutanol hasta el 71% y el 1.3%, respectivamente. Junto con los cambios en la biosíntesis de los ácidos grasos de las levaduras, estos resultados explican la razón de utilizar temperaturas de fermentación más frías en la producción de algunos vinos, especialmente los vinos blancos afrutados (Waterhouse *et al.*, 2016).

La fermentación es un proceso exotérmico y la conversión estequiométrica de las hexosas en etanol y CO₂ tendrá un cambio de entalpía de $\Delta H = -67 \text{ kJ/mol}$ de hexosa. En términos más sencillos, cada 1% m/m de azúcares fermentados elevará la temperatura de fermentación en aproximadamente 1.3 °C, suponiendo que no hay pérdida de calor del sistema. En la práctica, parte del calor se disipará por convección debido a la liberación de CO₂, pero los tanques de fermentación suelen estar equipados con camisas de refrigeración para evitar temperaturas de fermentación excesivas. Las temperaturas más altas tendrán varios efectos en la química final del vino, entre ellos (Waterhouse *et al.*, 2016):

- Aumento de los coeficientes de la Ley de Henry y de las pérdidas por volatilización, como se ha indicado anteriormente.

- Aumento de la extracción de compuestos como los polifenoles debido a los aumentos en las tasas de extracción y a los cambios en los coeficientes de partición.

- Alteración de la formación de metabolitos clave como los ácidos grasos y los alcoholes superiores.

(Waterhouse *et al.*, 2016).

3. **Tanques y fermentadores.** El tamaño de los tanques y los tipos de fermentadores utilizados para la producción de vino varían en función del tamaño de la bodega (es decir, las toneladas trituradas) y los estilos de vino que se producen (por ejemplo, vino tinto, blanco o espumoso). Los tanques de las bodegas modernas suelen ser de acero inoxidable y se utilizan para almacenar el jugo o el vino con fines de sedimentación en frío, estabilización, maduración, mezcla y a la espera del embotellado. La

capacidad de los depósitos varía y va desde varios cientos de litros (incluyendo diseños de volumen variable) hasta cientos de kilolitros; algunas bodegas muy grandes tienen depósitos que pueden contener un millón de litros o más. Los tanques más pequeños pueden alojarse en el interior, pero las bodegas más grandes tendrán grandes granjas de tanques al aire libre (Figura 2) que consisten en tanques aislados y refrigerados para mantener la temperatura. Los depósitos de diferentes tamaños se utilizan no sólo para separar los diferentes lotes de vino, sino también para mantenerlos llenos y minimizar el vacío (es decir, el espacio de cabeza por encima del líquido) y limitar el contacto con el aire, lo que disminuye la incidencia de problemas de oxidación o deterioro (Waterhouse *et al.*, 2016).

Figura 2. Granja de tanques de fermentación.



(Waterhouse *et al.*, 2016).

Las barricas de roble, que son las formas tradicionales de un tanque, se siguen utilizando habitualmente para el almacenamiento durante la maduración, principalmente para incorporar componentes de sabor a roble, pero también para permitir una lenta entrada de oxígeno que facilite el proceso de maduración y estabilización de los vinos tintos. En contraste con la búsqueda de una aportación de sabor por parte del roble, ciertas bebidas espirituosas y la mayoría de los vinos fortificados se envejecen en recipientes de roble viejo durante muchos años para permitir la concentración de componentes y las reacciones químicas lentas, y la promoción de cambios oxidativos en algunos casos. En los últimos años, se ha utilizado polietileno de calidad alimentaria en la construcción de depósitos más pequeños para el almacenamiento o la maduración; el plástico permite una lenta entrada de aire para emular el efecto obtenido con las barricas de roble. Los componentes deseables del roble pueden incorporarse hasta cierto punto con el uso de alternativas de roble como virutas, duelas y polvos, y teniendo en cuenta el coste de la compra y el mantenimiento de las barricas de roble, este enfoque puede ser más adecuado para algunas bodegas (Waterhouse *et al.*, 2016).

Los recipientes de fermentación pueden ser los mismos que los tanques utilizados para el almacenamiento, especialmente en la producción de vino blanco de mesa, o pueden ser más específicos, como es el caso de los tanques utilizados para la maceración durante la elaboración del vino tinto. En este caso, es necesario promover la extracción del color y los taninos del sombrero (los hollejos de la uva que suben a la parte superior durante la fermentación) mediante diferentes diseños de recipientes. Esto puede lograrse en fermentadores abiertos (Figura 3) o rotativos (Figura 4), donde el sombrero puede sumergirse y macerarse mediante una acción mecánica periódica. Alternativamente, se utilizan fermentadores estáticos cerrados (Figura 5) para obtener un efecto similar, ya que estos permiten mojar el tapón mediante mecanismos que bombean el jugo de fermentación por encima a determinados intervalos para facilitar la extracción. En la mayoría de los casos, las operaciones pueden automatizarse y los vinicultores pueden utilizar una combinación de técnicas de gestión del tapón en función del fermentador utilizado. En la producción de vino tinto también es necesario eliminar los sólidos de la uva (orujo u orujillo) una vez que se ha completado la etapa de maceración y se ha vaciado el tanque, y las características de diseño ayudan a ello (por ejemplo, una puerta grande en la base, un brazo de barrido, una parte superior abierta, la posibilidad de inclinar o levantar el fermentador). Además, es necesario controlar las temperaturas de fermentación aplicando calefacción o refrigeración, ya sea en el edificio, directamente en el tanque o mediante un intercambiador de calor (Waterhouse *et al.*, 2016).

Figura 3. Fermentadores abiertos.



(Waterhouse *et al.*, 2016).

Figura 4. Fermentador rotativo.



(Waterhouse *et al.*, 2016).

Figura 5. Fermentador estático cerrado.



(Waterhouse *et al.*, 2016).

Los fermentadores descritos anteriormente suelen ser de acero inoxidable y pueden ser bastante grandes (por ejemplo, capaces de contener 50 t/50 kL o más), pero el roble se sigue utilizando muy comúnmente en la construcción de recipientes (más pequeños) para la fermentación, y otros materiales como el hormigón o la piedra (por ejemplo un fermentador abierto cuadrado que suele estar sellado con cera o revestido de alguna manera, u otros fermentadores como los de forma de huevo u oblonga), el plástico (por ejemplo, el polietileno en forma de cubo o de huevo, como se ha mencionado anteriormente) o la terracota (por ejemplo, el ánfora a menudo revestida con cera de abeja) también figuran en algunas bodegas, pero son necesariamente mucho más pequeños que los depósitos de acero inoxidable. Además, algunos tipos de producción de vino espumoso exigen el uso de recipientes a presión después de la fermentación alcohólica

para incorporar o mantener un alto nivel de CO₂ en el producto, mientras que en otros casos la botella actúa como recipiente para la etapa de fermentación, que imparte la carbonatación (Waterhouse *et al.*, 2016).

D. OPERACIONES UNITARIAS

Las operaciones realizadas en la industria de procesos químicos que implican cambios físicos en los materiales manipulados se consideran operaciones unitarias. Algunas de las características de las operaciones unitarias son:

- Son de naturaleza física. (Un cambio físico da lugar a un cambio en la propiedad de la materia y requiere algún tipo de fuerza motriz).
- Son comunes a todos los tipos de industrias diversas (sin cambio de concepto, sólo cambio de condiciones).
- Las operaciones individuales tienen técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos, independientemente de los materiales que se procesan.
- Los métodos prácticos para llevarlas a cabo/realizarlas pueden ser más o menos diferentes en las distintas industrias.
- Son independientes de las industrias en las que se llevan a cabo.

(Gavhane, 2015).

Las operaciones que implican cambios físicos se denominan operaciones unitarias para indicar que cada operación única, como la destilación, se utiliza en una amplia gama de industrias y normalmente en condiciones de funcionamiento diferentes (temperatura, presión) (Gavhane, 2015).

La operación unitaria de destilación se emplea para separar o purificar el alcohol en la industria de las bebidas y los hidrocarburos en la industria del petróleo. Por lo tanto, la destilación de hidrocarburos en la industria del petróleo es similar a la destilación en la industria de las bebidas. La evaporación de soluciones salinas en la industria química es similar a la evaporación de soluciones de azúcar en la industria alimentaria (Gavhane, 2015).

En términos generales, las operaciones unitarias son: 1. Operaciones mecánicas, por ejemplo, reducción de tamaño, transporte, filtración, etc. 2. Operaciones de flujo de fluidos en las que la diferencia de presión actúa como fuerza motriz, 3. Operaciones de transferencia de calor en las que la diferencia de temperatura actúa como fuerza motriz, por ejemplo, la evaporación y 4. Operaciones de transferencia de masa en las que la diferencia de concentración actúa como fuerza motriz, por ejemplo, la destilación (Gavhane, 2015).

Por lo general, un gran número de operaciones unitarias de ingeniería química están dirigidas a separar una sustancia en sus partes componentes. En el caso de las mezclas heterogéneas, estas separaciones

pueden ser totalmente mecánicas, por ejemplo, la separación de partículas sólidas según su tamaño o la filtración de un sólido de una suspensión en un líquido (Gavhane, 2015).

Varias operaciones unitarias crean un proceso químico y un proceso químico lleva un proceso de diseño, algunas de las fases del diseño son:

Fase 1: A menos que las materias primas se suministren como productos intermedios desde una planta vecina, habrá que tomar alguna medida para mantener un almacenamiento de varios días, o semanas, para suavizar las fluctuaciones e interrupciones del suministro. Incluso cuando los materiales proceden de una planta adyacente, se suele prever una provisión de algunas horas, o incluso días, para abastecer los procesos. El almacenamiento necesario dependerá de la naturaleza de las materias primas, del método de entrega y de las garantías de continuidad del suministro. Si los materiales se entregan por barco (petrolero o granelero) pueden ser necesarias varias semanas de existencias; mientras que, si se reciben por carretera o ferrocarril, en lotes más pequeños, se necesitará menos almacenamiento (Sinnott *et al.*, 2005).

Fase 2: Por lo general, será necesario purificar y preparar las materias primas antes de que sean lo suficientemente puras, o estén en la forma adecuada, para alimentar la fase de reacción. Por ejemplo, el acetileno generado por el proceso del carburo contiene compuestos arsenicales y de azufre, así como otras impurezas, que deben eliminarse mediante el lavado con ácido sulfúrico concentrado (u otros procesos) antes de que sea lo suficientemente puro para reaccionar con el ácido clorhídrico y producir dicloroetano. La alimentación líquida tendrá que ser vaporizada antes de ser alimentada a los reactores en fase gaseosa, y los sólidos pueden necesitar ser triturados, molidos y cribados (Sinnott *et al.*, 2005).

Fase 3: La etapa de reacción es el corazón de un proceso de fabricación química. En el reactor se reúnen las materias primas en condiciones que promueven la producción del producto deseado; invariablemente, también se formarán subproductos y compuestos no deseados (impurezas) (Sinnott *et al.*, 2005).

Fase 4: En esta primera etapa, después del reactor, los productos y subproductos se separan de cualquier material que no haya reaccionado. Si hay suficiente cantidad, el material sin reaccionar se reciclará al reactor. Pueden devolverse directamente al reactor o a la etapa de purificación y preparación de la alimentación. Los subproductos también pueden separarse de los productos en esta fase (Sinnott *et al.*, 2005).

Fase 5: Antes de la venta, el producto principal suele necesitar una purificación para cumplir con las especificaciones del producto. Si se produce en cantidades económicas, los subproductos también pueden ser purificados para su venta (Sinnott *et al.*, 2005).

Fase 6: Hay que mantener algunas existencias de producto acabado para adecuar la producción a las ventas. También será necesario prever el envasado y el transporte del producto, en función de su naturaleza. Los líquidos se enviarán normalmente en bidones y en camiones cisterna a granel (por carretera, ferrocarril

y mar), los sólidos en sacos, cajas de cartón o balas. Las existencias dependerán de la naturaleza del producto y del mercado (Sinnott *et al.*, 2005).

1. **Proceso continuo y por lotes.** Los procesos continuos están diseñados para funcionar 24 horas al día, 7 días a la semana, durante todo el año. Se permite algún tiempo de inactividad para el mantenimiento y, en algunos procesos, para la regeneración del catalizador. Los procesos por lotes están diseñados para funcionar de forma intermitente. Algunas, o todas, las unidades de proceso se paran y se ponen en marcha con frecuencia. Los procesos continuos suelen ser más económicos para la producción a gran escala. Los procesos por lotes se utilizan cuando se desea cierta flexibilidad en la tasa de producción o en las especificaciones del producto (Sinnott *et al.*, 2005).

2. **Balances de materia.** Los balances de materiales son la base del diseño del proceso. Un balance de materiales realizado sobre el proceso completo determinará las cantidades de materias primas necesarias y de productos fabricados. Los balances sobre las unidades individuales del proceso establecen los flujos y las composiciones del flujo del proceso (Sinnott *et al.*, 2005).

Los balances de materiales también son herramientas útiles para el estudio del funcionamiento de la planta y la resolución de problemas. Pueden utilizarse para comprobar el rendimiento con respecto al diseño; para ampliar los datos, a menudo limitados, disponibles en la instrumentación de la planta; para comprobar las calibraciones de los instrumentos; y para localizar las fuentes de pérdida de material. La ecuación que describe estos procesos es:

Ecuación 2. Ecuación general de la conservación para cualquier proceso.

$$Salida = Entrada + Generación + Consumo + Acumulación$$

(Sinnott *et al.*, 2005).

Ecuación 3. Ecuación de la conservación sin reacciones químicas.

$$Salida = Entrada$$

(Sinnott *et al.*, 2005).

Se puede escribir una ecuación de equilibrio para cada especie presente identificable por separado, elementos, compuestos o radicales; y para la materia total.

3. **Balances de energía.** Al igual que la masa, se puede considerar que la energía se conserva por separado en todos los procesos, excepto en los nucleares (Sinnott *et al.*, 2005).

Sin embargo, la conservación de la energía difiere de la de la masa en que la energía puede generarse (o consumirse) en un proceso químico. La materia puede cambiar de forma, pueden formarse nuevas especies moleculares por reacción química, pero el flujo total de masa que entra en una unidad de proceso debe ser igual al flujo que sale en el estado estacionario. No ocurre lo mismo con la energía. La entalpía total de los

flujos de salida no será igual a la de los flujos de entrada si se genera o consume energía en los procesos; como la debida al calor de reacción (Sinnott *et al.*, 2005).

La energía puede existir en varias formas: calor, energía mecánica, energía eléctrica, y es la energía total la que se conserva. En el diseño de los procesos, se realizan balances energéticos para determinar las necesidades energéticas del proceso: el calentamiento, la refrigeración y la potencia requerida. En el funcionamiento de la planta, un balance energético (auditoría energética) mostrará el patrón de uso de la energía y sugerirá áreas de conservación y ahorro (Sinnott *et al.*, 2005).

Al igual que en el caso de los materiales, se puede escribir una ecuación general para la conservación de la energía igual a la ecuación 2, solamente en este caso se hablará de energía y no materiales (Sinnott *et al.*, 2005).

Esta es una afirmación de la primera ley de la termodinámica. Se puede escribir un balance energético para cualquier paso del proceso. Las reacciones químicas generan energía (exotérmica) o consumen energía (endotérmica). Para los procesos en estado estacionario, la acumulación de masa y energía será cero (Sinnott *et al.*, 2005).

La energía puede existir en muchas formas y esto, hasta cierto punto, hace que un balance de energía sea más complejo que un balance de materia (Sinnott *et al.*, 2005).

4. **Mecánica de fluidos.** Los ingenieros químicos se ocupan del transporte de fluidos, tanto líquidos como gaseosos, de un lugar a otro a través de tuberías o conductos. Esta actividad requiere la determinación de la caída de presión a través del sistema y, en consecuencia, de la potencia necesaria para el bombeo, la selección de un tipo adecuado de dispositivo de bombeo y la medición de los caudales (McCabe *et al.*, 2005).

Los ingenieros químicos se ocupan del transporte de fluidos, tanto líquidos como gaseosos, de un lugar a otro a través de tuberías o conductos. Esta actividad requiere la determinación de la caída de presión a través del sistema y, en consecuencia, de la potencia necesaria para el bombeo, la selección de un tipo adecuado de dispositivo de bombeo y la medición de los caudales (Gavhane, 2015).

La rama de la ciencia de la ingeniería que se ocupa del comportamiento de los fluidos en reposo o en movimiento se denomina mecánica de fluidos. El estudio del agua se denomina hidráulica (Gavhane, 2015).

La mecánica de fluidos se clasifica en: Estática de fluidos y dinámica de fluidos.

- La estática de fluidos se ocupa del estudio de los fluidos en reposo, lo que implica el estudio de la presión ejercida por un fluido en reposo y la variación de la presión del fluido a lo largo del mismo.
- La dinámica de fluidos se ocupa del estudio de los fluidos en movimiento en relación con las paredes o límites sólidos estacionarios.

(Gavhane, 2015).

Definición de un fluido:

- Un fluido es una sustancia que es capaz de fluir si se le permite hacerlo.
- Un fluido es una sustancia que no tiene forma propia definida, sino que se ajusta a la forma del recipiente que lo contiene.
- Un fluido es una sustancia que experimenta una deformación continua cuando se somete a una fuerza de cizallamiento/cizallamiento
- Dado que los líquidos y los gases/vapores poseen las características citadas anteriormente, se denominan fluidos.

(Gavhane, 2015).

Clasificación de un fluido:

En función del comportamiento de los fluidos bajo la acción de la presión y la temperatura aplicadas externamente, los fluidos se clasifican en:

- Fluidos compresibles: Si la densidad de un fluido se ve afectada apreciablemente por los cambios de temperatura y presión, se dice que el fluido es compresible.
- Fluidos incompresibles: Si la densidad de un fluido no se ve afectada de forma apreciable por cambios moderados de temperatura y presión, se dice que el fluido es incompresible.

(Gavhane, 2015).

En función del comportamiento de los fluidos bajo la acción del esfuerzo cortante, los fluidos se clasifican en:

- Fluidos newtonianos
- Fluidos no newtonianos.

Un fluido newtoniano es aquel que sigue la ley de viscosidad de Newton. Si la viscosidad es independiente de la tasa de cizallamiento o velocidad de corte, se dice que el fluido es newtoniano y si la viscosidad varía con la tasa de corte, se dice que el fluido es no newtoniano (Gavhane, 2015).

Un fluido posee una densidad definida a una temperatura y presión determinadas. Aunque la densidad del fluido depende de la temperatura y la presión, la variación de la densidad con los cambios de estas variables puede ser grande o pequeña (Gavhane, 2015).

Ecuación de continuidad:

Es una expresión matemática de la ley de conservación de la masa. Según la ley de conservación de la masa para un sistema de flujo constante, la tasa de masa que entra en el sistema de flujo es igual a la que

sale, ya que la acumulación es constante o nula en el sistema de flujo en condiciones estables (McCabe et al.,2005).

Consideremos un sistema de flujo (un tubo de corriente de sección transversal variable). Como el flujo no puede tener lugar a través de las paredes del tubo de corriente, la tasa de masa que entra en el tubo de corriente debe ser igual a la que sale. Sean u_1 , ρ_1 y A_1 la velocidad media del fluido, la densidad del fluido y el área de la sección transversal del tubo a la entrada, y sean u_2 , ρ_2 y A_2 las cantidades correspondientes a la salida del tubo. Supongamos que el flujo es potencial y que la densidad es constante en una única sección transversal (McCabe et al.,2005).

Tasa de masa que entra en el sistema = u_1, ρ_1 y A_1

Tasa de masa que sale del sistema = u_2, ρ_2 y A_2

En condiciones de flujo estacionario, según la ley de conservación de la masa, la masa de fluido que entra en el tubo en la unidad de tiempo es la misma que la que sale del tubo. Por lo tanto,

Ecuación 4. Ecuación de continuidad.

$$\dot{m} = \rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2$$

(McCabe *et al.*,2005).

Donde:

\dot{m} = Flujo másico [masa/tiempo].

ρ = Densidad [masa/volumen].

u = Velocidad lineal [distancia/tiempo].

A = Área [distancia²].

Una relación importante, llamada ecuación de Bernoulli sin fricción, puede derivarse sobre la base de la segunda ley del movimiento de Newton (la fuerza es igual a la tasa de cambio del momento) para el flujo potencial. Se trata simplemente de un balance energético. La variación de la velocidad a través de una sección transversal dada, el efecto de las fuerzas de fricción se desprecia al principio y luego se hacen correcciones para las mismas en la ecuación. Así, la relación que se obtendrá es estrictamente aplicable a un fluido no viscoso (sin fricción).

Ecuación 5. Ecuación de Bernoulli sin fricción.

$$\frac{P_1}{\rho} + gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gZ_2 + \frac{u_2^2}{2}$$

(McCabe *et al.*,2005).

Donde:

P = Presión [fuerza/distancia²].

g = Gravedad [distancia/tiempo²].

Z = Altura [distancia].

La ecuación de Bernoulli se deriva para el fluido sin fricción. Por lo tanto, debe corregirse por la existencia del rozamiento del fluido siempre que se forme la capa límite. La fricción del fluido es una conversión irreversible de energía mecánica en calor. Así, la cantidad $P/\rho + u^2/2 + gZ$ no es constante, sino que siempre disminuye en la dirección del flujo (McCabe *et al.*,2005).

La ecuación de Bernoulli para fluidos incompresibles se corrige en función del rozamiento añadiendo un término de fricción en la parte izquierda de la ecuación 5 (McCabe *et al.*,2005).

La ecuación de Bernoulli entre las estaciones 1 y 2, después de hacer las correcciones necesarias, en términos de energía por unidad de masa (J/kg) es:

Ecuación 6. Ecuación de Bernoulli corregida:

$$\frac{P_1}{\rho} + gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

(McCabe *et al.*,2005).

Donde:

h_f = Coeficiente de fricción [distancia²/tiempo²]

5. **Transferencia de calor.** La transferencia de calor se ocupa del estudio de las velocidades a las que se produce el intercambio de calor entre una fuente caliente y un receptor frío. En las industrias de proceso hay muchas operaciones que implican la transferencia de energía en forma de calor, por ejemplo, la evaporación, la destilación, el secado, etc. y también las reacciones químicas llevadas a cabo a escala comercial tienen lugar con evolución o absorción de calor. También es necesario evitar la pérdida de calor desde un recipiente caliente o un sistema de tuberías al aire ambiente. En todos estos casos, el principal problema es el de la transferencia de calor a la velocidad deseada. El conocimiento de las leyes de transferencia de calor, los mecanismos de transferencia de calor y los equipos de transferencia de calor de proceso es de gran importancia desde el punto de vista del control del flujo de calor de la manera deseada (Gavhane, 2015).

Es un hecho bien establecido que, si dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto térmico, el calor fluye de un cuerpo caliente a un cuerpo relativamente frío (segunda ley de la termodinámica). El flujo neto de calor es siempre en la dirección de la disminución de la temperatura. Así pues, el calor se

define como una forma de energía que está en tránsito entre una fuente caliente y un receptor frío. La transferencia de calor depende únicamente de las temperaturas de los dos cuerpos/sustancias/partes de un sistema. En otras palabras, la temperatura se puede denominar el nivel de energía térmica (calor), es decir, la alta temperatura de un cuerpo es la indicación de un alto nivel de contenido de energía térmica del cuerpo (Gavhane, 2015).

El calor puede fluir por uno o varios de los tres mecanismos básicos, a saber, conducción, convección y radiación. Primero veremos brevemente estos tres modos de transferencia de calor y luego consideraremos en detalle la conducción de calor a través de los sólidos (Gavhane, 2015).

Conducción: Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra parte del mismo cuerpo o de un cuerpo a otro que está en contacto físico con él, sin desplazamiento apreciable de las partículas de un cuerpo. La conducción se limita al flujo de calor en los sólidos. Ejemplos de conducción: Flujo de calor a través de la pared de ladrillo de un horno, de la chapa metálica de una caldera y de la pared metálica del tubo de un intercambiador de calor (McCabe *et al.*,2005).

Convección: Es la transferencia de calor de un punto a otro dentro de un fluido (gas o líquido) mediante la mezcla de porciones calientes y frías del fluido. Se atribuye al movimiento macroscópico del fluido. La convección se limita al flujo de calor en los fluidos y está estrechamente relacionada con la mecánica de fluidos. En la convección natural, el movimiento del fluido es el resultado de la diferencia de densidades del fluido más caliente y del más frío que surge de la diferencia de temperatura en la masa del fluido. En la convección forzada, el movimiento del fluido se produce por medios mecánicos como un agitador, un ventilador o una bomba. Ejemplos de transferencia de calor principalmente por convección son: el calentamiento de una habitación mediante un radiador de vapor, el calentamiento del agua en ollas, el flujo de calor a un fluido bombeado a través de una tubería calentada (McCabe *et al.*,2005).

Radiación: La radiación se refiere a la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro a través del espacio, no en contacto con él, mediante ondas electromagnéticas. Ejemplos de transferencia de calor por radiación son: la transferencia de calor del sol a la tierra y la pérdida de calor de una tubería de vapor no protegida al aire ambiente (McCabe *et al.*,2005).

Tanto la conducción como la convección sólo se producen en presencia de un medio material, mientras que la radiación puede producirse incluso en el vacío y no se requiere ningún medio material para el flujo de calor por radiación. Se observa que el flujo de calor por conducción es lento, más rápido por convección y el más rápido por radiación (Gavhane, 2015).

Ley de Fourier:

La ley física que rige la transferencia de calor a través de un material uniforme (siempre que exista una diferencia de temperatura) por un modo de conducción fue dada por el científico francés: Joseph Fourier (McCabe *et al.*,2005).

La ley de Fourier establece que la tasa de flujo de calor por conducción a través de un material uniforme (fijo) es directamente proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor (McCabe *et al.*,2005).

La gran mayoría de las aplicaciones prácticas de la transferencia de calor en las industrias de procesos químicos implican la transferencia de calor a un fluido o la transferencia de calor desde un fluido (McCabe *et al.*,2005).

El mecanismo de flujo de calor en los sólidos es por conducción; mientras que el mecanismo de flujo de calor en los fluidos se debe a la convección. La convección es la transferencia de calor de un punto a otro dentro de un fluido mediante la mezcla de porciones calientes y frías del mismo (McCabe *et al.*,2005).

La transferencia de calor por convección se produce como resultado del movimiento del fluido a escala macroscópica en forma de corrientes circulantes. Las corrientes circulantes pueden ser creadas por el propio proceso de transferencia de calor o por alguna agencia externa. Se limita al flujo de calor en los fluidos (McCabe *et al.*,2005).

En el caso de la transferencia de calor por convección, la mezcla física de las porciones calientes y frías de un fluido es responsable del flujo de calor de un lugar a otro dentro del fluido. Existen dos tipos de convección (McCabe *et al.*,2005).

La convección se clasifica como: convección libre o natural y convección forzada.

Cuando las corrientes circulantes surgen del propio proceso de transferencia de calor, es decir, de las diferencias de densidad que surgen a su vez debido a las diferencias / gradientes de temperatura dentro de la masa de fluido, el modo de transferencia de calor se denomina convección libre o natural (McCabe *et al.*,2005).

Cuando las corrientes de circulación son producidas por un organismo externo, como un agitador en un recipiente de reacción, una bomba, un ventilador o un soplador, el modo de transferencia de calor se denomina convección forzada. En este caso, el movimiento del fluido es independiente de los gradientes de densidad (Gavhane, 2015).

La transferencia de calor por radiación suele producirse simultáneamente con la transferencia de calor por convección y conducción. La transferencia de calor por radiación es mucho más importante a altas temperaturas que los otros dos mecanismos. Las calderas de fuego directo, los calentadores eléctricos, las calderas de vapor, los hornos rotativos, etc. son ejemplos de equipos de proceso químico en los que la radiación es un mecanismo importante de transferencia de energía (Gavhane, 2015).

Radiación: Se refiere al transporte de energía a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Depende de las ondas electromagnéticas como medio de transferencia de energía de una fuente a un receptor.

La energía radiante es de la misma naturaleza que la luz visible ordinaria. Viaja en línea recta y puede reflejarse en una superficie. Las ondas electromagnéticas con una longitud de onda que va de 0,50 a 50 μm (micras, $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) son importantes para la transferencia de calor radiante. La radiación de una sola longitud de onda se denomina monocromática. La radiación térmica es la energía emitida por un cuerpo debido a su temperatura y restringimos nuestra discusión a este tipo de radiación (Gavhane, 2015).

Ejemplos típicos de transferencia de calor por radiación:

- Transferencia de calor del sol a la tierra.
- Pérdida de calor de una tubería de vapor sin revestimiento.
- Utilización de la energía del sol en calentadores solares.
- Calentamiento de una habitación fría mediante un calentador eléctrico radiante.

(Gavhane, 2015).

En contraste con la transferencia de calor por conducción y convección, la transferencia de calor por radiación no requiere un medio intermedio (material o líquido) entre dos lugares y el calor puede transmitirse por el modo de radiación a través de un vacío absoluto (Gavhane, 2015).

La radiación es el único modo significativo de transferencia de energía/calor cuando no hay ningún medio (por ejemplo, la fuga de calor a través de las paredes evacuadas de un termo).

6. **Transferencia de masa.** En una mezcla formada por dos o más componentes, si las concentraciones de los componentes varían de un punto a otro, existe una tendencia natural a que cada componente migre/se desplace de las regiones de alta concentración a las de baja concentración. El proceso de transferencia de masa como resultado de la diferencia de concentración de un componente en una mezcla o dos fases en contacto se denomina transferencia de masa (Treybal, 1997).

Las operaciones realizadas para separar los componentes de una mezcla, que implican la transferencia de material de una fase homogénea a otra, utilizando la diferencia de presión de vapor, solubilidad o difusividad y en las que la fuerza impulsora de la transferencia es una diferencia de concentración, se denominan operaciones de transferencia de masa (Treybal, 1997).

En el caso de la evaporación del agua de un estanque en una corriente de aire que fluye sobre la superficie del agua, las moléculas de vapor de agua se difunden a través de las del aire en la superficie hacia la parte principal de la corriente de aire, como resultado de lo cual son arrastradas con el aire que fluye. En este caso, la transferencia de masa es el resultado de una diferencia o gradiente de concentración, ya que la sustancia que se difunde (el agua) se desplaza de una región de alta concentración a una región de baja concentración. Por lo tanto, la fuerza motriz de la transferencia de masa es una diferencia de concentración, al igual que la diferencia de temperatura en la transferencia de calor (Treybal, 1997).

La destilación fraccionada (uno de los métodos de separación) depende de la diferencia de presiones de vapor de los distintos componentes a la misma temperatura (volatilidad), mientras que la absorción de gases depende de la diferencia de solubilidad de los gases en un disolvente selectivo. La extracción líquido-líquido y la lixiviación dependen de la diferencia de solubilidad en un disolvente líquido (Treybal, 1997).

Las operaciones de transferencia de masa incluyen técnicas de separación como la destilación, la absorción de gases, la extracción de líquidos, el secado, la cristalización, etc.

En las operaciones de transferencia de masa, la transferencia de masa puede producirse:

- En una dirección, por ejemplo, absorción de gas.
- En direcciones opuestas (es decir, en ambas direcciones), por ejemplo, la destilación.
- Con transferencia de calor simultánea, por ejemplo, secado y cristalización.
- Con una reacción química simultánea, por ejemplo, absorción de gas acompañada de una reacción química (absorción de CO₂ en una solución acuosa de KOH).
- Con el intercambio de uno o más componentes.
- De forma isotérmica (es decir, a T constante) y no isotérmica.
- Los fenómenos que deben existir en las operaciones de transferencia de masa son:
- Al menos dos fases deben entrar en contacto entre sí.
- Los materiales deben fluir de una fase a la otra.
- Una parte del flujo total de materiales debe producirse por difusión molecular.

(Gavhane, 2015)

Los tres estados de agregación de una sustancia son el gas, el líquido y el sólido, por lo que tenemos seis posibilidades de contacto de fases. Gas-gas (no se realiza prácticamente), gas-líquido, gas-sólido, líquido-líquido, líquido-sólido y sólido-sólido (no se encuentra ninguna operación de separación industrial en esta categoría) (Gavhane, 2015).

Las operaciones de transferencia de masa se han clasificado en función de las fases en contacto, como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Fases en contacto y operaciones de masa relacionadas.

Fases en contacto	Operación de transferencia de masa
Líquido – vapor	Destilación Absorción de gases
Líquido – gas	Desorción Humidificación Deshumidificación Cristalización
Líquido – sólido	Lixiviación Adsorción
Líquido – líquido	Extracción
Sólido – vapor	Sublimación
Sólido – gas	Adsorción
Sólido – gas	Secado

Elaboración propia extraído de: (Gavhane, 2015).

Por lo tanto, la destilación, la absorción de gas y la desorción son operaciones gas-líquido, la extracción de líquido es una operación líquido-líquido, la cristalización es una operación líquido-sólido y el secado es una operación gas-sólido (Gavhane, 2015).

Dado que el mecanismo básico es el mismo independientemente de que la fase sea un gas, un líquido o un sólido, existen algunas similitudes entre las distintas operaciones de transferencia de masa, las cuales son:

- El equilibrio entre las fases se alcanza después de un tiempo suficientemente largo de contacto entre ellas.
- La transferencia de materia se produce por el efecto combinado de la difusión molecular y la turbulencia.
- No hay resistencia a la transferencia de masa en la interfaz de fases (debido a la existencia del equilibrio en la interfaz).
- La tasa de transferencia de masa se evalúa por la desviación/salida de la concentración de equilibrio.

Difusión:

Es el movimiento de un componente individual a través de una mezcla desde una región de mayor concentración a una región de menor concentración a temperatura y presión fijas con o sin la ayuda de una fuerza externa (Treybal, 1997).

Una mezcla que no es uniforme inicialmente será llevada finalmente a la uniformidad (una mezcla es uniforme en todas partes en la concentración de sus constituyentes) por difusión ya que el gradiente de concentración que actúa como fuerza motriz de la difusión tiende a mover el componente en una dirección tal que iguala las concentraciones y destruye el gradiente. Si mantenemos el gradiente de concentración suministrando constantemente el componente difusor en el extremo de alta concentración y retirándolo en el extremo de baja concentración, entonces el flujo del componente difusor es continuo. Este movimiento se utiliza en las operaciones de transferencia de masa (Treybal, 1997).

Cuando la difusión resulta del movimiento aleatorio de las moléculas, se denomina difusión molecular. Como la difusión molecular requiere la migración real de las moléculas, la tasa de transferencia de masa es mayor en los gases que en los líquidos y muy lenta en los sólidos. Cuando el movimiento de las moléculas se produce con la ayuda de una fuerza externa (por ejemplo, la agitación mecánica y el movimiento convectivo del fluido), entonces se denomina difusión en remolino o turbulenta. La difusión molecular es un proceso lento, mientras que la difusión en remolino es un proceso rápido. La difusión molecular es el mecanismo de un fluido estacionario, es decir, un fluido en reposo y fluidos en flujo laminar. En el caso de los fluidos en flujo turbulento, el mecanismo de transferencia de masa es la difusión por remolinos. La transferencia de materia en presencia de un gradiente de concentración se clasifica como transferencia molecular y transferencia por remolinos. La transferencia molecular de masa se produce en fluidos estacionarios o en fluidos en flujo laminar, mientras que la transferencia por remolinos se produce en fluidos en condiciones turbulentas (Treybal, 1997).

La difusión puede ocurrir en una fase o en ambas fases en todas las operaciones de transferencia de masa. En el caso de la destilación, el componente más volátil se difunde a través de la fase líquida hasta la interfaz entre las fases (fase líquida y vapor) y se aleja de la interfaz hacia la fase vapor. El componente menos volátil se difunde en la dirección opuesta y pasa de la fase de vapor a la fase líquida. En caso de absorción gaseosa, el gas soluto difunde a través de la fase gaseosa hasta la interfaz y luego a través de la fase líquida (fase líquida disolvente) desde la interfaz entre las fases. En caso de cristalización, el soluto sólido se difunde a través del licor madre (fase líquida) hasta los cristales y se deposita en las superficies sólidas. En el caso de la operación de secado, el agua líquida (humedad) se difunde a través del sólido hacia la superficie del mismo, se evapora y se difunde en forma de vapor hacia la fase gaseosa (medio de secado). En el caso de la extracción líquido-líquido, el soluto líquido se difunde a través de la fase de refinado y luego a la fase de extracción (fase de disolvente) desde la interfaz entre las fases (Gavhane, 2015).

En la absorción de gas, una fase gaseosa entra en contacto con una fase líquida y la masa se transfiere de la fase gaseosa a la fase líquida (disolvente líquido) (Gavhane, 2015).

La absorción de gas se refiere a una operación en la que una mezcla de gas se pone en contacto con un líquido para disolver preferentemente uno o más componentes solubles de la mezcla de gas en el líquido. Esta operación de la unidad también se denomina lavado. Las diferencias de solubilidad de los gases en un determinado disolvente se utilizan para efectuar dicha separación. La absorción de gas es la segunda operación de transferencia de masa más importante que se encuentra en la industria química y se utiliza para la recuperación o eliminación del gas soluble (Gavhane, 2015).

En la absorción, el componente soluble de una mezcla de gases se denomina gas soluto, el componente insoluble se denomina gas inerte o gas portador y el líquido utilizado para la absorción se denomina disolvente o absorbente. En unas condiciones de funcionamiento determinadas, la volatilidad del disolvente utilizado es muy baja, por lo que es esencialmente inmisible en la fase gaseosa. Un ejemplo típico de absorción de gas es la eliminación de amoníaco de una mezcla de amoníaco y aire utilizando agua como disolvente. En este caso, dado que el amoníaco es soluble en agua, el aire es casi insoluble y el agua no se vaporiza de forma apreciable en la mezcla de gases a temperatura ambiente, la única transferencia es de amoníaco de la fase gaseosa a la fase líquida (Gavhane, 2015).

La operación inversa a la absorción se denomina desorción o stripping. Se trata de una operación en la que un gas disuelto de una solución (un líquido) se elimina del líquido poniéndolo en contacto con un gas inerte (es decir, un medio de desorción). Por tanto, la eliminación del dióxido de azufre de los gases de combustión mediante soluciones alcalinas es un ejemplo de absorción, mientras que la eliminación de los componentes volátiles del petróleo mediante vapor es un ejemplo de desorción (Gavhane, 2015).

La absorción puede ser un fenómeno puramente físico -absorción física, por ejemplo, la absorción de amoníaco de una mezcla de amoníaco y aire por el agua- o puede ir acompañada de una reacción química (la transferencia de un componente del soluto a la fase líquida y, a continuación, la reacción de este soluto con un constituyente del líquido), por ejemplo, la absorción de NO_2 en agua para producir ácido nítrico. La absorción de gas es exotérmica por naturaleza, por lo que esta operación exige una disposición de enfriamiento y se realiza normalmente a bajas temperaturas (ya que la solubilidad de un gas soluto en un disolvente determinado es elevada a bajas temperaturas) (Gavhane, 2015).

El grado de absorción de un gas de una mezcla gaseosa por un disolvente líquido viene determinado por su presión parcial. Cada gas disuelto ejerce una presión parcial definida a una temperatura y concentración determinadas. Se dice que el gas es ligeramente soluble cuando la presión parcial ejercida por el gas disuelto de la solución es mayor, mientras que se dice que es más soluble cuando la presión parcial ejercida por el gas disuelto de la solución de concentración dada es menor. Así, el oxígeno es poco soluble, mientras que el amoníaco es muy soluble en el agua. Con el agua como disolvente, el amoníaco es un gas muy soluble, el dióxido de azufre es un gas moderadamente soluble y el oxígeno es un gas ligeramente soluble (Gavhane, 2015).

Una cantidad determinada de líquido disolverá cualquier cantidad de un gas poco o más soluble dependiendo de la presión parcial del gas disuelto en la fase gaseosa en contacto con el líquido. Un gas poco soluble (gas insoluble) requiere una mayor presión parcial del gas en contacto con el líquido para dar la solución de una concentración deseada, mientras que un gas muy soluble requiere una presión parcial muy baja para dar la solución de la misma concentración (Treybal, 1997).

La condición de equilibrio se alcanzará cuando la presión parcial del gas soluto en la fase gaseosa sea igual a su presión parcial desde la fase líquida. La condición de equilibrio fija así el límite superior de funcionamiento de una unidad de absorción (Gavhane, 2015).

La solubilidad de un gas (la concentración de un gas disuelto en el líquido a una temperatura y presión determinadas) no se ve afectada sustancialmente por la presión total sobre el sistema, pero sí por la temperatura. En general, la solubilidad de un gas en un disolvente determinado disminuye con el aumento de la temperatura (Gavhane, 2015).

En la mayoría de los casos, la absorción del gas se produce con la evolución del calor y la solubilidad disminuye si no se toman medidas para eliminar el calor generado. Por lo general, se prevén disposiciones de refrigeración adecuadas para mantener la temperatura lo suficientemente baja como para lograr una buena tasa de absorción (Gavhane, 2015).

7. **Operaciones con sólidos.** La reducción de tamaño se refiere a una operación en la que las partículas de sólidos se cortan o rompen en trozos más pequeños (Gavhane, 2015).

La reducción de tamaño es un proceso mecánico de descomposición de sólidos en partículas de menor tamaño sin alterar el estado de agregación de los sólidos. También se denomina conminución. Los sólidos se reducen de tamaño por compresión, impacto, atrición y corte (Gavhane, 2015).

En las industrias de proceso, esta operación suele llevarse a cabo para:

- Aumentar la superficie para aumentar la velocidad de un proceso físico o químico. En la mayoría de las reacciones y operaciones unitarias (por ejemplo, la lixiviación) en las que intervienen partículas sólidas, la tasa aumenta al incrementar el área de contacto entre el sólido y la segunda fase, ya que la tasa es proporcional al área de contacto entre las fases implicadas. En el proceso de combustión, la tasa de combustión es proporcional al área presentada al gas. Así, la tasa de combustión de las partículas sólidas es alta si las partículas son de pequeño tamaño. En la lixiviación, la tasa de extracción aumenta debido al aumento del área de contacto entre el sólido y el disolvente.
- Para efectuar la separación de dos constituyentes en los casos en que uno de ellos está disperso en pequeñas bolsas aisladas.
- Para cumplir con las estrictas especificaciones relativas al tamaño de los productos comerciales.

- Para lograr una mezcla íntima de los sólidos en una operación sólido-sólido, ya que la mezcla es más completa si el tamaño de las partículas es pequeño.
- Para mejorar la velocidad de disolución, la solubilidad, la fuerza de unión y las propiedades de dispersión.

(Gavhane, 2015).

Muchos materiales sólidos existen/se presentan en tamaños demasiado grandes para ser utilizados directamente. Por lo tanto, estos materiales deben ser reducidos en tamaño antes de su uso (Treybal, 1997).

Las máquinas de reducción de tamaño suelen reducir el tamaño de los sólidos por: compresión, impacto, atrición o frotamiento, y corte. En general, la compresión se utiliza para la reducción gruesa de sólidos duros (para obtener relativamente pocos finos), el impacto da productos gruesos, medios o finos, el rozamiento da productos muy finos a partir de materiales blandos y no abrasivos y el corte produce un producto de tamaño de partícula definido y a veces de forma definida, con pocos o ningún fino (Treybal, 1997).

Los sólidos se pueden separar en estado seco mediante métodos como el cribado (separación por tamaño), la separación magnética y la separación electrostática.

En la industria química, el problema de separación de partículas sólidas que se plantea es el de la separación de un único material sólido en varias fracciones de tamaño o el de obtener un material uniforme para incorporarlo a un sistema en el que se produce una determinada reacción química (Treybal, 1997).

Se denomina cribado a un método de separación de partículas sólidas en función únicamente del tamaño. El cribado es una operación de separación de sólidos basada únicamente en el tamaño. Se refiere a la separación de materiales sólidos sobre la base del tamaño utilizando pantallas de aberturas conocidas (Treybal, 1997).

El cribado es la separación de una mezcla de partículas sólidas de varios tamaños en dos o más fracciones por medio de una superficie de cribado (Treybal, 1997).

En el cribado, una mezcla de partículas sólidas de varios tamaños se deja caer sobre una superficie de cribado/tamiz (una superficie provista de aberturas adecuadas) que actúa como un medidor múltiple de paso y no paso. El material que pasa a través de una superficie de cribado/tamizado determinada se denomina material de tamaño inferior o negativo (-), mientras que el material que permanece en la superficie de cribado/tamizado se denomina material de tamaño superior o positivo (+) (Gavhane, 2015).

Una sola criba puede realizar una única separación del material cargado en dos fracciones. Éstas se denominan fracciones no dimensionadas, ya que sólo se conoce el límite superior o inferior de la granulometría que contienen y no se conoce el otro límite. El material puede separarse en fracciones dimensionadas, es decir, las fracciones en las que se conocen tanto el tamaño máximo como el mínimo de

las partículas, haciéndolo pasar por una serie de cribas de diferentes tamaños. El cribado se adopta mucho más comúnmente para los sólidos de partículas secas y ocasionalmente para los sólidos de partículas húmedas. En este tema, nos limitaremos a hablar del cribado de partículas sólidas secas (Gavhane, 2015).

Las cribas industriales se fabrican con barras metálicas, telas metálicas, telas de seda y placas metálicas perforadas o ranuradas. Existen muchas variedades y tipos de cribas para diferentes propósitos, pero hablaremos de algunos tipos representativos (Gavhane, 2015).

Necesidad o razones para llevar a cabo la operación de cribado/importancia de la operación de cribado: La operación de cribado se lleva a cabo industrialmente para:

- Eliminar los finos de un material de alimentación antes de un equipo de reducción como la trituradora de mandíbulas, el molino de bolas o el molino de barras.
- Evitar que un material incompletamente triturado (exceso de tamaño) entre en otras operaciones unitarias.
- Producir un material de calidad comercial o de proceso que cumpla unos límites de tamaño de partícula específicos.
- Eliminar los finos de un producto acabado antes de su envío.

8. **Termodinámica.** La ciencia de la termodinámica se desarrolló en el siglo XIX como resultado de la necesidad de describir los principios básicos de funcionamiento de la recién inventada máquina de vapor y de proporcionar una base para relacionar el trabajo producido con el calor suministrado. Así, el propio nombre denota la potencia generada a partir del calor. Del estudio de las máquinas de vapor surgieron dos de las principales generalizaciones de la ciencia: la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica. Toda la termodinámica clásica está implícita en estas leyes. Sus enunciados son muy sencillos, pero sus implicaciones son profundas (Smith et al., 1997).

La primera ley dice simplemente que la energía se conserva, es decir, que no se crea ni se destruye. No proporciona ninguna definición de energía que sea a la vez general y precisa. No ayuda su uso informal habitual, en el que la palabra tiene significados imprecisos. Sin embargo, en contextos científicos y de ingeniería, se reconoce que la energía aparece en varias formas, útiles porque cada forma tiene una definición matemática en función de algunas características reconocibles y medibles del mundo real. Así, la energía cinética se define como una función de la velocidad, y la energía potencial gravitatoria como una función de la elevación (Smith et al., 1997).

La conservación implica la transformación de una forma de energía en otra. Los molinos de viento llevan mucho tiempo funcionando para transformar la energía cinética del viento en trabajo que se utiliza para elevar el agua de las tierras que se encuentran por debajo del nivel del mar. El efecto global es convertir la energía cinética del viento en energía potencial del agua. La energía eólica se convierte ahora en energía

eléctrica de forma más generalizada. Del mismo modo, la energía potencial del agua se transforma desde hace tiempo en trabajo para moler el grano o aserrar la madera. Las centrales hidroeléctricas son ahora una fuente importante de energía eléctrica (Smith et al., 1997).

La segunda ley es más difícil de comprender porque depende de la entropía, una palabra y un concepto que no son de uso cotidiano. Sus consecuencias en la vida cotidiana son importantes en lo que respecta a la conservación del medio ambiente y el uso eficiente de la energía. El tratamiento formal se pospone hasta que hayamos sentado una base adecuada (Smith et al., 1997).

Las dos leyes de la termodinámica no tienen demostración en sentido matemático. Sin embargo, se observa universalmente que se cumplen. Un enorme volumen de pruebas experimentales demuestra su validez. Así pues, la termodinámica comparte con la mecánica y el electromagnetismo una base de leyes primitivas (Smith et al., 1997).

Estas leyes conducen, mediante deducción matemática, a una red de ecuaciones que encuentran aplicación en todas las ramas de la ciencia y la ingeniería. Incluyen el cálculo de los requisitos de calor y trabajo para los procesos físicos, químicos y biológicos, y la determinación de las condiciones de equilibrio para las reacciones químicas y para la transferencia de especies químicas entre fases. La aplicación práctica de estas ecuaciones requiere casi siempre información sobre las propiedades de los materiales. Así, el estudio y la aplicación de la termodinámica están inextricablemente ligados a la tabulación, correlación y predicción de las propiedades de las sustancias (Smith et al., 1997).

Refrigeración:

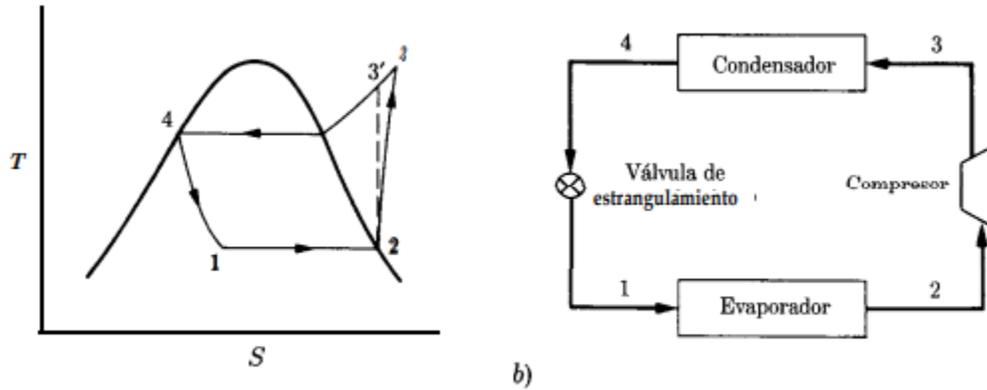
La palabra refrigeración implica el mantenimiento de una temperatura inferior a la del entorno. Es más conocida por su uso en la climatización de edificios y en la conservación de alimentos y el enfriamiento de bebidas. Ejemplos de procesos comerciales a gran escala que requieren refrigeración son la fabricación de hielo y CO₂ sólido, la deshidratación y licuación de gases y la separación del aire en oxígeno y nitrógeno (Smith et al., 1997).

Un frigorífico es una bomba de calor que absorbe el calor de una región a una temperatura inferior a la del entorno y rechaza el calor hacia el entorno. Funciona con la mayor eficiencia posible en un ciclo de refrigeración de Carnot, el inverso del ciclo del motor de Carnot (Smith et al., 1997).

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor se representa en la Figura 6, junto con un diagrama de TS que muestra los cuatro pasos del proceso. Un refrigerante líquido que se evapora a T y P constantes absorbe calor (línea 1 - 2), produciendo el efecto de refrigeración. El vapor producido se comprime a través de la línea discontinua 2 - 3 para la compresión isentrópica, y a través de la línea 2 - 3, inclinada en la dirección del aumento de la entropía, para un proceso de compresión real, que refleja las irreversibilidades inherentes. A esta mayor T y P, se enfría y condensa (línea 3 - 4) con rechazo de calor a los alrededores. El líquido del condensador se expande (línea 4 - 1) hasta su presión original. En principio, esto puede llevarse

a cabo en una turbina de la que se obtiene trabajo. Sin embargo, por razones prácticas, se suele llevar a cabo mediante la estrangulación a través de una válvula de control parcialmente abierta. La caída de presión en este proceso irreversible resulta de la fricción del fluido en la válvula (Smith et al., 1997).

Figura 6. Ciclo de refrigeración.



(Smith et al., 1997).

9. **Reacciones químicas.** Todo proceso químico industrial está diseñado para producir económicamente un producto deseado a partir de una variedad de materiales de partida mediante una sucesión de pasos de tratamiento. Las materias primas se someten a una serie de pasos de tratamiento físico para ponerlas en la forma en que pueden reaccionar químicamente. Luego, pasan por el reactor. A continuación, los productos de la reacción deben someterse a otros tratamientos físicos -separaciones, purificaciones, etc.- para obtener el producto final deseado (Levenspiel, 1998).

El diseño del reactor no es una cuestión rutinaria, y se pueden proponer muchas alternativas para un proceso. En la búsqueda del óptimo, no sólo hay que minimizar el coste del reactor. Un diseño puede tener un coste de reactor bajo, pero los materiales que salen de la unidad pueden ser tales que su tratamiento requiera un coste mucho mayor que el de los diseños alternativos. Por lo tanto, hay que tener en cuenta la economía del proceso global (Levenspiel, 1998).

El diseño del reactor utiliza información, conocimientos y experiencia de diversas áreas: termodinámica, cinética química, mecánica de fluidos, transferencia de calor, transferencia de masa y economía. La ingeniería de la reacción química es la síntesis de todos estos factores con el objetivo de diseñar adecuadamente un reactor químico (Levenspiel, 1998).

En el diseño de reactores queremos saber qué tamaño y tipo de reactor y método de funcionamiento son los mejores para un trabajo determinado. Dado que esto puede requerir que las condiciones en el reactor varíen con la posición, así como con el tiempo, esta pregunta sólo puede responderse mediante una integración adecuada de la ecuación de tasa para la operación. Esto puede plantear dificultades porque la

temperatura y la composición del fluido reactivo pueden variar de un punto a otro dentro del reactor, dependiendo del carácter endotérmico o exotérmico de la reacción, de la tasa de adición o eliminación de calor del sistema y del patrón de flujo del fluido a través del recipiente. En efecto, hay que tener en cuenta muchos factores para predecir el rendimiento de un reactor. La mejor manera de tratar estos factores es el principal problema del diseño de un reactor (Levenspiel, 1998).

Los equipos en los que se efectúan reacciones homogéneas pueden ser de tres tipos generales: el reactor por lotes, el de flujo estacionario y el de flujo inestable o semilotes. La última clasificación incluye todos los reactores que no entran en las dos primeras categorías (Levenspiel, 1998).

En el reactor discontinuo, los reactivos se cargan inicialmente en un recipiente, se mezclan bien y se dejan reaccionar durante un cierto tiempo. A continuación, se descarga la mezcla resultante. Se trata de una operación de estado inestable en la que la composición cambia con el tiempo; sin embargo, en cualquier instante la composición en todo el reactor es uniforme (Levenspiel, 1998).

El primero de los dos reactores ideales de flujo estacionario lo denominamos reactor de flujo de pistón, o PFR. Se caracteriza por el hecho de que el flujo del fluido a través del reactor es ordenado, sin que ningún elemento del fluido se sobrepase o se mezcle con ningún otro elemento por delante o por detrás. La condición necesaria y suficiente para el flujo tapón es que el tiempo de residencia en el reactor sea el mismo para todos los elementos del fluido (Levenspiel, 1998).

El otro reactor ideal de flujo estacionario se denomina reactor mixto, CSTR o CFSTR (reactor de tanque agitado de flujo constante) y, como su nombre indica, es un reactor en el que el contenido está bien agitado y es uniforme en todo su recorrido. Así, la corriente de salida de este reactor tiene la misma composición que el fluido dentro del reactor. Nos referimos a este tipo de flujo como polvo mixto, y al reactor correspondiente como reactor de flujo mixto, o MFR (Levenspiel, 1998).

Al igual que el tiempo de reacción t es la medida de rendimiento natural de un reactor discontinuo, el espacio-tiempo y la velocidad espacial son las medidas de rendimiento adecuadas de los reactores de flujo. Estos términos se definen como sigue:

Ecuación 7. Espacio-Tiempo.

$$\tau = \frac{1}{s}$$

(Levenspiel, 1998).

Donde:

τ = Tiempo requerido para procesar un volumen del reactor [tiempo].

s = Número de volúmenes de reactores que se pueden tratar en un tiempo específico [tiempo⁻¹].

Ecuación 8. Velocidad-Espacial.

$$s = \frac{1}{\tau}$$

(Levenspiel, 1998).

Así, una velocidad espacial de 5 hr⁻¹ significa que se introducen en el reactor cinco volúmenes de alimentación en condiciones especificadas se introducen en el reactor por hora. Un espacio-tiempo de 2 min significa que cada 2 min un volumen de alimentación del reactor en las condiciones especificadas es tratado por el reactor (Levenspiel, 1998).

Como se mencionó anteriormente existen diferentes tipos de reactores y, para determinar su volumen o su espacio tiempo, cada uno de ellos posee su propia ecuación, por ejemplo:

Ecuación 9. Ecuación para reactor de tanque agitado de flujo constante.

$$\tau = \frac{V}{v} = \frac{C_{A0}X_A}{-r_A}$$

(Levenspiel, 1998).

Donde:

V = Volumen del reactor [volumen].

v = Flujo volumétrico [volumen/tiempo].

C_{A0} = Concentración inicial de sustrato.

X_A = Tasa de conversión.

r_A = Expresión de velocidad de reacción.

Ecuación 10. Ecuación para el reactor de flujo de pistón.

$$\tau = \frac{V}{v} = C_{A0} \int_0^{X_{Af}} \frac{dX_A}{-r_A}$$

(Levenspiel, 1998).

Nota: La ecuación 10 también es utilizada para los reactores tipo batch en condiciones ideales.

E. OPERACIONES REALIZADAS EN EL PROCESO

Tomando en cuenta el conocimiento básico que se tiene acerca de las operaciones unitarias, se muestra un cuadro con las operaciones relacionadas con el proceso de elaboración de vino, sus objetivos y los equipos comúnmente utilizados.

Cuadro 2. Procesos relacionados con la elaboración de vino.

Proceso	Objetivos	Equipo utilizado
Peso de materia prima, inspección y muestreo	Pesar y evaluar las uvas, determinar parámetros básicos y determinar el vino específico a elaborar.	Báscula, analizador/muestreador de uvas o equipo básico de laboratorio (ej. Refractómetro, potenciómetro, espectrofotómetro, etc.).
Adición de uvas a la tolva	Transferir las uvas de los contenedores para iniciar el proceso.	Tolva de recepción con tornillo sinfín.
Maceración y despalillado de uvas	Remover las frutas del tallo y maceración para obtener el mosto.	Trituradora/despalilladora, bomba para incluir aditivos, intercambiador de calor para modificar la temperatura del mosto.
Prensado para extraer el jugo de corrida libre	Extraer y separar el líquido de las uvas sólidas.	Prensa o filtro.
Clarificación del mosto blanco	Promover precipitación y eliminar la mayoría de sólidos suspendidos (ej. Proteínas, polisacáridos, restos de uva, etc.).	Tanques (para sedimentación en frío) y equipo de clarificación (centrífuga o unidades filtrantes).
Fermentación	Conversión de los azúcares en las uvas a alcohol (o ácido málico a ácido láctico).	Tanques de fermentación (reactores).
Maduración del vino rojo	Estabilizar el color y promover cambios organolépticos.	Tanques o barriles, sistema de microoxigenación.
Sedimentación y trasiego	Remover las léas y otros compuestos precipitados.	Tanques y equipo de clarificación.
Estabilización	Alcanzar el calor y la estabilidad en frío del vino.	Tanques o equipo especializado para estabilización de tatrato.
Filtración gruesa	Disminuir la turbidez del vino.	Unidades filtrantes.
Almacenaje	Mantener el vino en buenas condiciones antes de embotellado.	Tanques.
Filtración estéril y envasado.	Producir producto claro y microbiológicamente estable.	Unidades filtrantes, línea de envasado.

Elaboración propia extraído de: (Waterhouse *et al.*, 2016).

F. DIAGRAMAS DE FLUJO, INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS

El diagrama de flujo es el documento clave en el diseño de procesos. Muestra la disposición de los equipos seleccionados para llevar a cabo el proceso; las conexiones de los flujos; los caudales y composiciones de los flujos; y las condiciones de funcionamiento. Es un modelo diagramático del proceso (Sinnott *et al.*, 2005).

Los grupos de diseño especializados utilizarán el diagrama de flujo como base para sus diseños. En él se incluirán las tuberías, la instrumentación, el diseño de los equipos y la disposición de la planta. También lo utilizará el personal de explotación para preparar los manuales de funcionamiento y la formación de los operarios. Durante la puesta en marcha y el posterior funcionamiento de la planta, el diagrama servirá de base para comparar el rendimiento operativo con el diseño (Sinnott *et al.*, 2005).

El diagrama de flujo se elabora a partir de los balances de materiales realizados sobre el proceso completo y cada unidad individual. También se realizan balances energéticos para determinar los flujos de energía y las necesidades de servicio (Sinnott *et al.*, 2005).

Los cálculos manuales del diagrama de flujo pueden ser tediosos y llevar mucho tiempo cuando el proceso es grande o complejo. Cuando el proceso es grande o complejo, los cálculos manuales pueden ser tediosos y llevar mucho tiempo. para facilitar esta fase del diseño del proceso. Su uso permite al diseñador considerar diferentes procesos y esquemas de procesado más alternativos en su búsqueda del mejor proceso y de las condiciones óptimas de procesado. proceso y sus condiciones óptimas (Sinnott *et al.*, 2005).

El siguiente paso en el diseño del proceso, después del diagrama de flujo, es la preparación de los diagramas de tuberías e instrumentación (abreviados como diagramas P&ID), a menudo denominados también diagrama de flujo de ingeniería o diagrama de flujo mecánico. Los diagramas P&ID, como su nombre indica como su nombre indica, muestran los detalles técnicos del proceso y se basan en el diagrama de flujo del proceso (Sinnott *et al.*, 2005).

Un diagrama de bloques es la forma más sencilla de presentación. Cada bloque puede representar una sola pieza del equipo o una etapa completa del proceso. Son útiles para mostrar procesos sencillos. En el caso de procesos complejos, su uso se limita a mostrar el proceso global, desglosado en sus principales etapas (Sinnott *et al.*, 2005).

Los diagramas de bloques son útiles para representar un proceso de forma simplificada en informes y libros de texto, pero sólo tienen un uso limitado como documentos de ingeniería. Los caudales y composiciones de las corrientes pueden mostrarse en el diagrama junto a las líneas de flujo, cuando sólo se desea mostrar una pequeña cantidad de información, o tabularse por separado. por separado (Sinnott *et al.*, 2005).

Los bloques pueden tener cualquier forma, pero suele ser conveniente utilizar una mezcla de cuadrados y círculos dibujados con una plantilla. y círculos, dibujados con una plantilla.

En los diagramas de flujo detallados que se utilizan para el diseño y la operación, los equipos suelen estar dibujados de forma pictórica estilizada. Para los diagramas a veces se utilizan dibujos a escala real de los equipos, pero es más habitual utilizar una representación simplificada. Los símbolos que figuran en la norma británica BS 1553 (1977) "Símbolos gráficos para ingeniería general", parte 1, "Sistemas de tuberías y plantas" son los recomendados, aunque la mayoría de las oficinas de diseño utilizan sus propios símbolos (Sinnott *et al.*, 2005).

Los datos sobre el caudal de cada componente, el caudal total y la composición porcentual pueden representarse en el diagrama de flujo de varias maneras. El método más sencillo, adecuado para procesos sencillos con pocos equipos, consiste en tabular los datos en bloques junto a las líneas de flujo del proceso (Sinnott *et al.*, 2005).

De este modo, sólo puede mostrarse una cantidad limitada de información, y es difícil realizar modificaciones o añadir datos adicionales (Sinnott *et al.*, 2005).

La cantidad de información que se muestra en un diagrama de flujo dependerá de los usos y costumbres de cada oficina de diseño. Por ello, la lista que figura a continuación se ha dividido en elementos esenciales y elementos opcionales. Los elementos esenciales deben figurar siempre. Los opcionales aumentan la utilidad del diagrama, pero no siempre se incluyen (Sinnott *et al.*, 2005).

Información esencial:

- Composición del flujo
 - El caudal de cada componente individual, en kg/h, lo cual es preferible, o bien
 - La composición del flujo como fracción en peso.
- Caudal total del flujo, en kg/h.
- Temperatura del flujo, preferentemente en grados Celsius.
- Presión nominal de funcionamiento (la presión de funcionamiento requerida).

Información opcional:

- Composición en porcentajes molares.
- Datos de las propiedades físicas, valores medios de la corriente, como:
 - Densidad, kg/m³
 - Viscosidad, mN s/m².
- Nombre del flujo, una breve descripción, de una o dos palabras, de la naturaleza del flujo.
- Entalpía del flujo, en kJ/h.

(Sinnott *et al.*, 2005).

El diagrama de tuberías e instrumentos (diagrama P&I o P&ID) muestra los detalles técnicos de los equipos, instrumentos, tuberías, válvulas y accesorios, así como su disposición. En este se debería incluir:

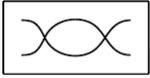
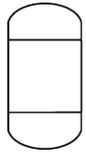
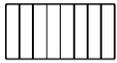
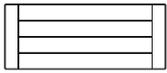
- Todos los equipos de proceso identificados por un número de equipo. El equipo debe dibujarse en proporción aproximada y debe mostrarse la ubicación de las boquillas.
- Todas las tuberías, identificadas por un número de línea. Se indicará el tamaño y el material de construcción de las tuberías. El material puede incluirse como parte del número de identificación de la línea.
- Todas las válvulas, de control y de bloqueo, con un número de identificación. Se indicará el tipo y el tamaño. El tipo puede indicarse mediante el símbolo utilizado para la válvula o incluirse en el código utilizado para el número de la válvula.
- Accesorios auxiliares que formen parte del sistema de tuberías, como mirillas en línea, filtros y purgadores de vapor; con un número de identificación.
- Bombas, identificadas con un número de código adecuado.
- Todos los lazos de control e instrumentos, con un número de identificación.

(Sinnott *et al.*, 2005).

El diagrama P e I se parecerá al diagrama de flujo del proceso, pero no se mostrará la información del proceso. En ambos diagramas se utilizarán los mismos números de identificación en ambos diagramas (Sinnott *et al.*, 2005).

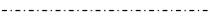
Los símbolos utilizados para mostrar los equipos, válvulas, instrumentos y bucles de control dependerán de la práctica de la oficina de diseño concreta. Los símbolos de los equipos suelen ser más detallados que los del diagrama de flujo del proceso. En este trabajo se utilizaron los siguientes símbolos para la elaboración de los diagramas de flujo y de instrumentación y tuberías:

Cuadro 3. Simbología de equipos utilizados en diagramas.

Símbolo 1	Símbolo 2	Símbolo 3	Significado
	-	-	Equipo para despalillado
	-	-	Trituradora
	-	-	Bomba centrífuga
		-	Reactor
	-	-	Centrífuga
			Tanque de almacenamiento
			Intercambiador de calor
	-	-	Compresor
	-	-	Condensador

Elaboración propia basado en: (Sinnott *et al.*, 2005).

Cuadro 4. Simbología utilizada para los planos de instrumentación y tuberías.

Símbolo	Significado
	Válvula de alivio
	Válvula de globo
	Instrumento para control
	Instrumento indicador y transmisor
	Punto de medición
	Tubería/Flujo principal
	Señal enviada por transmisores

Elaboración propia basado en: (Sinnott *et al.*, 2005).

G. MERCADO EN EL MUNDO

¿Por qué la industria del vino atrae tanta atención? Al fin y al cabo, sólo representa el 0.4% del consumo mundial de los hogares, y las vides cubren sólo el 0.5% de las tierras de cultivo del mundo (de las que apenas un tercio producen uvas de vino). Además, a nivel global no es una industria en crecimiento, ya que la producción y el consumo mundial de vino han disminuido ligeramente en las dos últimas décadas. Pero para millones de inversores y cientos de millones de consumidores, esta industria ofrece un producto mucho más fascinante de lo que podría sugerir su participación en el gasto o el PIB mundial. Además, proporciona un estudio de caso perspicaz de la globalización en funcionamiento que implica a los sectores primario, secundario y terciario de la economía, porque el coste medio mundial de una botella de vino se reparte aproximadamente de la siguiente manera: 10% para el viticultor, 30% para la bodega, 37% para los transportistas, mayoristas y minoristas, y 23% para los recaudadores de impuestos (Wittwer, *et al.*, 2002).

Un aspecto importante de la globalización es el movimiento de insumos y conocimientos cruciales desde zonas establecidas a otras nuevas. El primer cultivo sistemático de la vid para el vino tuvo lugar probablemente entre y al sur de los mares Negro y Caspio hace al menos 6.000 años. Los conocimientos sobre la producción y los esquejes de la mejor subespecie, la *Vitis vinifera*, se extendieron gradualmente hacia el oeste, hasta Egipto, Grecia y quizás el sur de España hacia el 2 500 a.C. (Wittwer, *et al.*, 2019).

Mientras que a finales de la década de 1980 Europa representaba, en términos de valor, la totalidad de las exportaciones mundiales de vino (y las tres cuartas partes de las importaciones de vino), los mercados mundiales del vino han experimentado desde entonces importantes cambios estructurales. En particular, Estados Unidos y varios países del hemisferio sur (Australia, Argentina, Chile, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Uruguay) están empezando a desafiar ese dominio europeo en los mercados internacionales. Entre 1999 y 2000, la cuota combinada de este grupo del Nuevo Mundo en las exportaciones mundiales de vino creció del 4% al 18% en términos de valor. Si se excluye el comercio dentro de la Unión Europea (UE), el descenso del dominio europeo es aún más dramático: del 67% al 48%, mientras que la cuota del Nuevo Mundo crece del 14% al 38% (Wittwer, *et al.*, 2019).

De los diez principales países exportadores de vino del mundo, que representan el 90% del valor del comercio internacional de vino, la mitad están en Europa Occidental y la otra mitad son proveedores del Nuevo Mundo. Las economías europeas en transición desde el socialismo representan gran parte del resto. De los diez primeros, Australia es el cuarto exportador mundial de vino, después de Francia (que en 2000 representaba por sí sola más del 40%), Italia (18%) y España (9%) (Wittwer, *et al.*, 2019).

La producción mundial de vino, excluyendo jugos y mostos, en 2020 se estima en 260 millones de hectolitros, marcando un ligero aumento de casi 3 millones de hectolitros (+1%), en comparación con 2019. En general, después de dos años consecutivos volátiles de 2017 y 2018, 2020 está en línea con el nivel de producción mundial de vino de 2019 que puede definirse como ligeramente inferior a la media (OIV, 2021).

La producción vinificada en la UE en 2020 se estima en 165 millones de hectolitros, registrando un aumento del 8% (+12 millones de hectolitros) en comparación con el bajo volumen registrado en 2019. A pesar del intento de las normativas nacionales y de la UE de contener la producción⁴ y de las decisiones de varias asociaciones de productores italianas, francesas y españolas de fijar los volúmenes vinificados en un nivel inferior al de 2019 debido a la caída prevista de la demanda en el mercado mundial del vino, la climatología favorable propició una cosecha abundante en muchas regiones de la UE. Por esta razón, muchas previsiones y estimaciones tempranas realizadas en septiembre de 2020 se han revisado al alza (OIV, 2021).

Los volúmenes de producción en estos tres países registraron descensos respectivos de -7,3 millones de hectolitros (-13%), -7.1 millones de hectolitros (-15%) y -11.4 millones de hectolitros (-25%) en comparación con la elevadísima producción de 2018. Sin embargo, mientras que para Italia el volumen de producción de 2019 es solo un 2% inferior a su última media quinquenal, para Francia y España la diferencia es mucho mayor, con un -6% y un -11% respectivamente (OIV, 2021).

Italia (49.1 millones de hectolitros), Francia (46.6 millones de hectolitros) y España (40.7 millones de hectolitros), que en conjunto representan el 53% de la producción mundial de vino en 2020, experimentaron un fuerte aumento en su producción de vino con respecto a 2019. Los volúmenes de producción de estos tres países registraron aumentos de 1.5 millones de hectolitros (+3%), 4.4 millones de hectolitros (+11%) y 7.0 millones de hectolitros (+21%) respectivamente en comparación con 2019. Sin embargo, mientras que para Italia el volumen de producción de 2020 se mantiene en línea con respecto a su última media quinquenal, para Francia y España el repunte es mucho mayor, con un +6% y un +8% respectivamente. Este aumento podría deberse a una primavera y un verano cálidos, experimentados en estos países, que favorecieron una cosecha 2020 temprana y abundante (OIV, 2021).

El consumo mundial de vino en 2020 se estima en 234 millones de hectolitros, lo que supone un descenso del 3% respecto a 2019. Esta caída de 7 millones de hectolitros es análoga a la registrada durante la crisis financiera mundial de 2008-09. El primer año de la crisis sanitaria COVID-19 puso de manifiesto los comportamientos asimétricos del consumo agregado en los distintos países del mundo (OIV, 2021).

Aunque se trata del nivel de consumo más bajo registrado desde 2002, dada la incertidumbre a la que se enfrentó en 2020, la cifra sugiere que el sector del vino no ha tenido en conjunto un rendimiento inferior al de otros productos básicos. No obstante, hay que señalar que, dado el margen de error en el seguimiento del consumo mundial de vino, estas cifras deben considerarse con precaución. También hay que tener en cuenta que una notable revisión del consumo de vino en China ha hecho que este país sea el principal impulsor del descenso de los niveles de consumo en los últimos años (OIV, 2021).

En el año 2020, afectado por la crisis, el mercado mundial de exportación de vino -considerado aquí como la suma de las exportaciones de todos los países- se ha contraído ligeramente en volumen, alcanzando los 105.8 millones de hectolitros (-1.7% /2019), pero ha experimentado una caída relativamente importante

en valor, con 29.6 miles de millones de euros (-6.7% /2019). Asimismo, la estructura y composición de las exportaciones mundiales, ha experimentado algunos cambios notables (OIV, 2021).

Este resultado global se debe a la combinación de varios factores: el impactante golpe que sufrieron los mercados mundiales en el primer semestre debido a la pandemia de Covid-19, que se reconcilió razonablemente en la segunda mitad de 2020, así como la imposición de barreras comerciales como consecuencia de las tensiones geopolíticas. Ejemplos de ello son los aranceles comerciales de represalia de EE.UU. hacia algunos países de la UE (especialmente Francia, España y Alemania), los aranceles chinos sobre los vinos australianos y las incertidumbres del Brexit en relación con los futuros procedimientos administrativos para el comercio con los 27 países restantes de la UE (OIV, 2021).

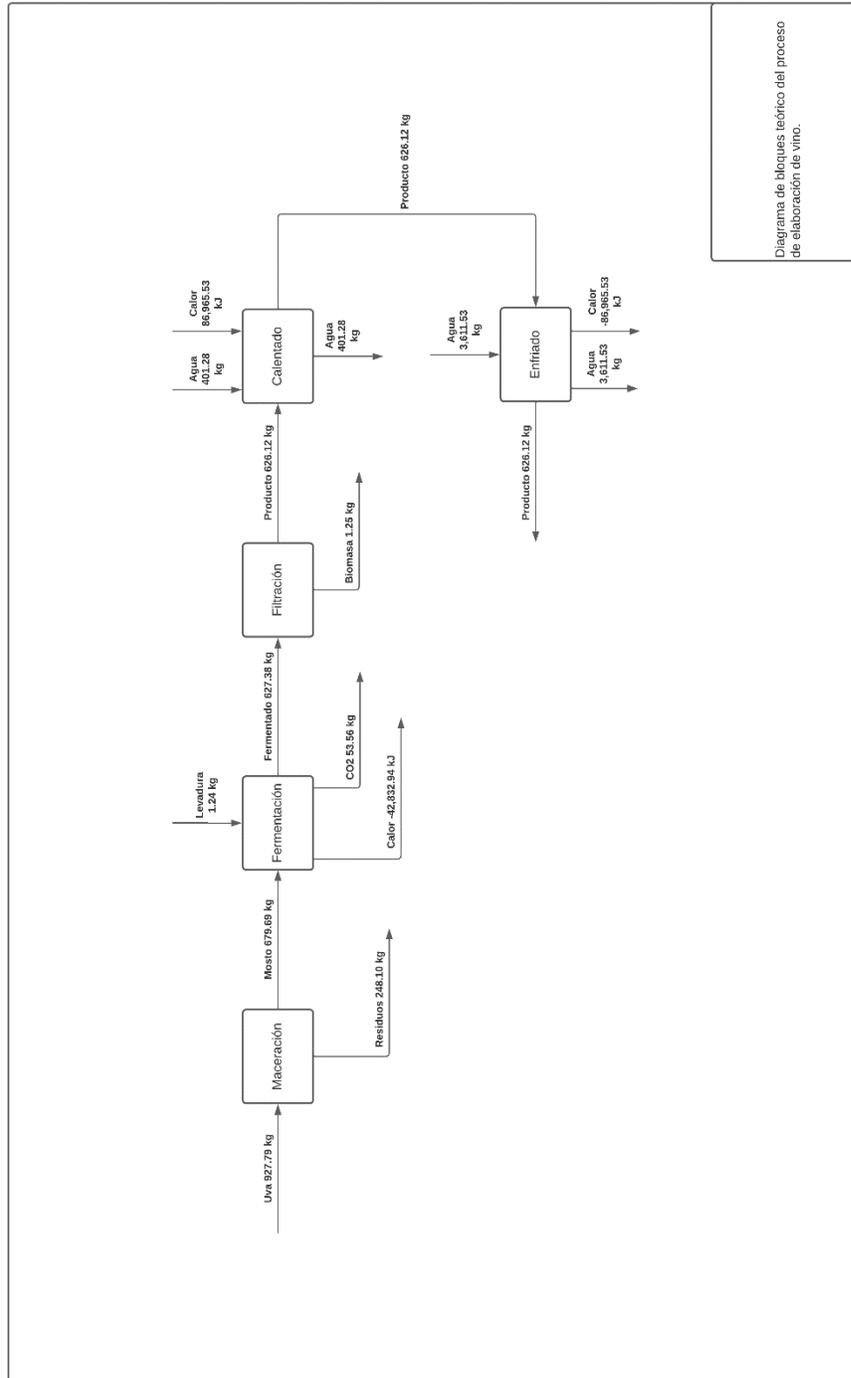
En 2020, a pesar de un ligero descenso (-1.7%) con respecto a 2019, las exportaciones globales en volumen, con 105.8 millones de hectolitros, están en línea con la media de los últimos diez años. Italia fue el mayor exportador en 2020 con 20.8 millones de hectolitros, representando el 20% del mercado global. La evolución de los volúmenes de exportación por países en 2020 es bastante heterogénea (OIV, 2021).

Italia (20.8 millones de hectolitros, -2.4%), España (20.2 millones de hectolitros, -5.9%), Francia (13.6 millones de hectolitros, -4.9%), Chile (8.5 millones de hectolitros, -2.2%), Alemania (3.4 millones de hectolitros, -10.3%) y Sudáfrica (3.6 millones de hectolitros, -11.9%) observaron reducciones significativas de las exportaciones, mientras que Australia (7.5 millones de hectolitros, +0.5%), Argentina (4.0 millones de hectolitros, +27.0%), Estados Unidos (3.6 millones de hectolitros, +1.8%), Portugal (3.1 millones de hectolitros, +5.3%) y Nueva Zelanda (2.9 millones de hectolitros, +6.0%) registraron aumentos en comparación con 2019 (OIV, 2021).

H. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

En esta sección se muestra el balance de masa y energía del proceso en dos diagramas diferentes: Diagrama de bloques y diagrama de flujo. Estos están basados en los datos teóricos utilizados en el trabajo.

Figura 7. Diagrama de bloques teórico del proceso de elaboración de vino.



Elaboración propia basado en: (Moenne, 2008).

Figura 8. Diagrama de flujo teórico del proceso principal de elaboración de vino.

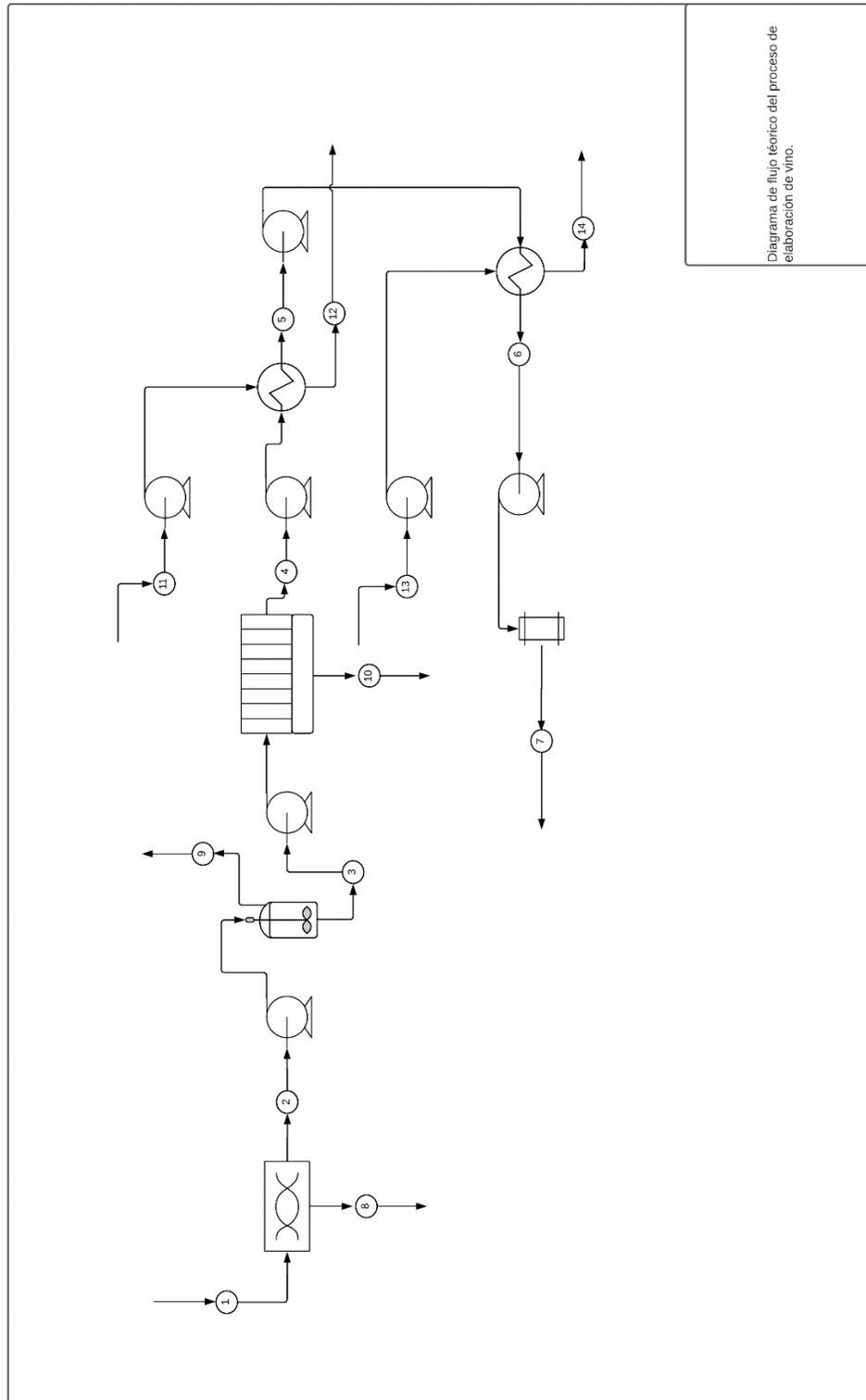


Diagrama de flujo teórico del proceso de elaboración de vino.

Elaboración propia basado en: (Moenne, 2008).

Cuadro 5. Flujos (en masa) para diagrama de proceso teórico de elaboración de vino.

Flujo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nombre del flujo	Uva	Mosto	Fermentado	Producto filtrado	Producto caliente	Producto pasteurizado	Producto embotellado	Residuos maceración	Dióxido de carbono	Biomasa	Agua caliente	Agua enfriada	Agua fría	Agua calentada
Flujo másico (kg/batch)	927.79	679.69	627.38	626.12	626.12	626.12	1,010.87	248.10	53.56	1.25	401.28	401.28	3,611.53	3,611.53
Densidad (kg/m ³)	N/A	976.79	976.79	976.79	976.79	976.79	976.79	N/A	1.81	N/A	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Temperatura (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00	63.00	25.00	25.00	N/A	25.00	N/A	70.00	25.00	25.00	30.00
Presión (bar)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.013	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Elaboración propia basado en: (Moenne, 2008).

V. ANTECEDENTES

Las primeras menciones que se hacen al vino en Guatemala ubican el vid principalmente en Verapaz correspondiente a el fraile Francisco Ximénez en el año 1712. En 1979 se retoma el cultivo de vid, en este caso se produce en Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa y Chiquimula. Este se destina principalmente a la producción frutal o de mostos (ICEX, 2019).

El único ron producido en su totalidad en Guatemala se encuentra en “Château Defay”, estos poseen diferentes tipos de vino: rojo, blanco y rosado. Están elaborados de las cepas más conocidas, entre ellas, Cabernet Sauvignon, Melot y Shiraz. Está ubicado en Santa María de Jesús en el departamento de Sacatepéquez. Con coordenadas: 14.46 °N 90.69°O a 1474 metros sobre el nivel del mar (ICEX, 2019).

La ubicación cuenta con un clima medio 25 °C con una precipitación máxima de 100 mm. Durante el año 2022 se registró una temperatura máxima de 27°C y una humedad máxima relativa del 87% (Meteoblue, 2022).

Esta bodega tiene la capacidad de producción de 3 000 cajas de vino. Las primeras plantas fueron importadas desde el estado de Washington, EEUU. Luego, todas las uvas son sembradas en este lugar y de estas es que se realiza el vino.

Esta bodega ya posee algunos equipos para la elaboración de vinos, entre ellos: Equipo de prensado, fermentador, filtro, embotelladora y etiquetadora. Para los vinos elaborados en esta ubicación el proceso de añejamiento se realiza en la botella.

VI. METODOLOGÍA

A. DETERMINACIÓN DE LA BASE DE CÁLCULO

1. Investigar y determinar la cantidad necesaria de vino que es necesaria para realizar todas las pruebas, añejar y realizar pruebas de estabilidad. Tomar esta como base de cálculo.

B. ELABORACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

1. Escoger la tecnología que se utilizará para los procesos
2. Establecer condiciones de operación basados en la posible ubicación de la planta.
3. Investigar las condiciones y requerimiento de cada uno de los procesos, de esta manera se tendrán los datos teóricos para elaborar el balance de masa y energía en cada etapa.
4. Por medio de una hoja de cálculo, determinar los flujos de entrada y salida en cada una de las etapas del proceso, se recomienda realizar este paso del último proceso al primero.
5. Determinar la masa de materia prima que es necesaria para el proceso.
6. Elaborar el diagrama de flujo en un software tipo CAD usando los símbolos de ingeniería química, la tecnología utilizada y el balance de masa y energía.

C. FICHAS DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS

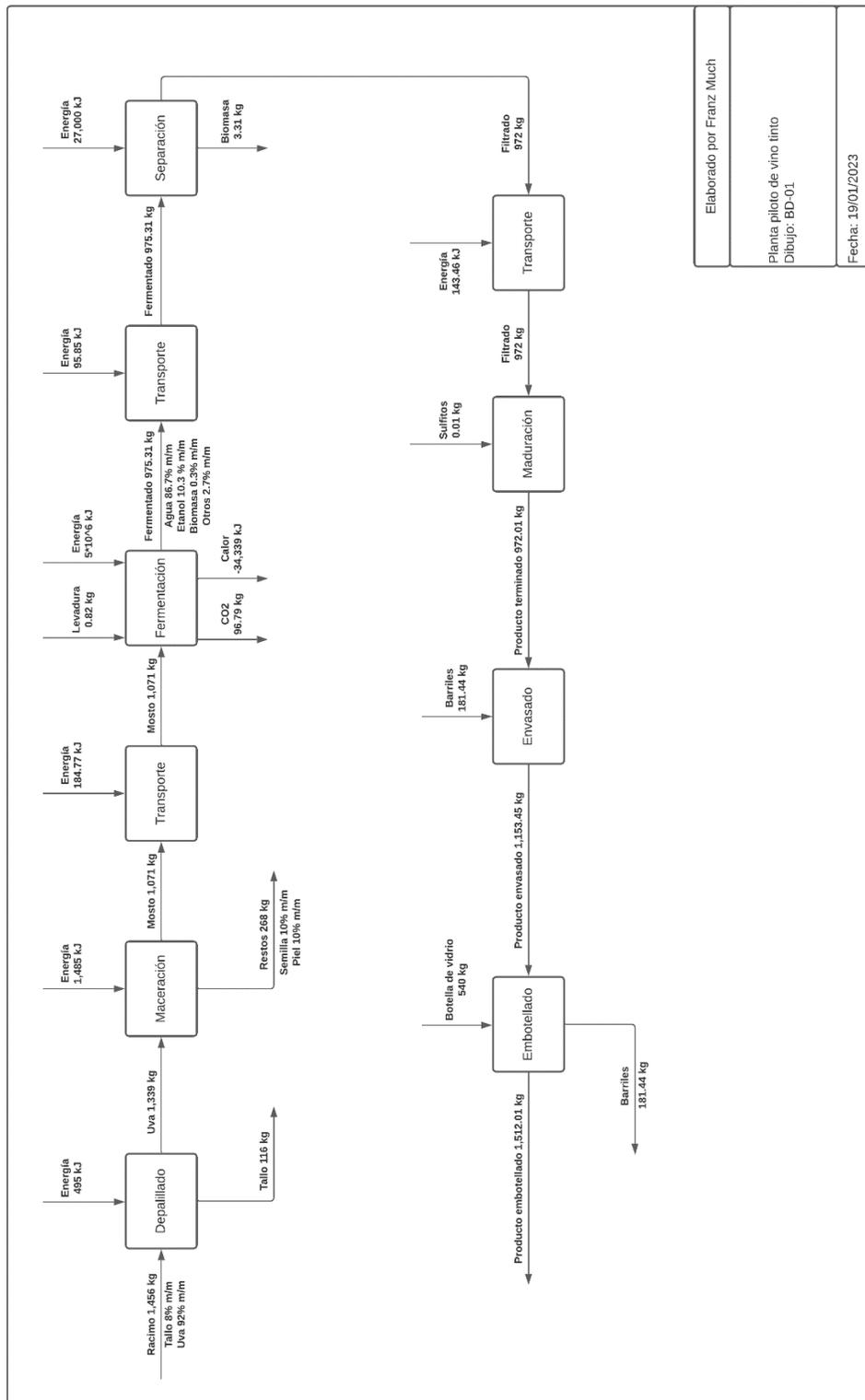
1. Con los flujos en cada uno de los procesos, revisar la literatura para realizar el dimensionamiento de cada uno de los equipos.
2. Determinar las dimensiones y las condiciones de operación de los equipos seleccionados.
3. Elaborar las fichas de especificación de los equipos basadas en las plantillas que se encuentran en la literatura.
4. Investigar acerca de la estimación de costos de los equipos seleccionados y comparar con valores reales (ej. cotizaciones).
5. Determinar los costos de todos los equipos y trasladar al dato más cercano.
6. El paso anterior es necesario cuando se utilizan datos de años anteriores, entonces se debe trasladar a un precio actual

D. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PILOTO

1. Con la especificación de los equipos, elaborar el diagrama de tuberías e instrumentación tomando en cuenta los diámetros de tuberías y la instrumentación que se considere necesaria para cada uno de los procesos.
2. A partir la literatura, elaborar un croquis de la distribución de los equipos y sus medidas.
3. Determinar el espacio necesario para el montaje de la planta.
4. Si ya se cuenta con un espacio para esto, acoplar los equipos a este, de igual manera determinar si este espacio cumple con las condiciones necesarias para mantener la seguridad.
5. Con la distribución de la planta, realizar los planos de las diferentes vistas de: planta, elevación y 3D.

VII. RESULTADOS

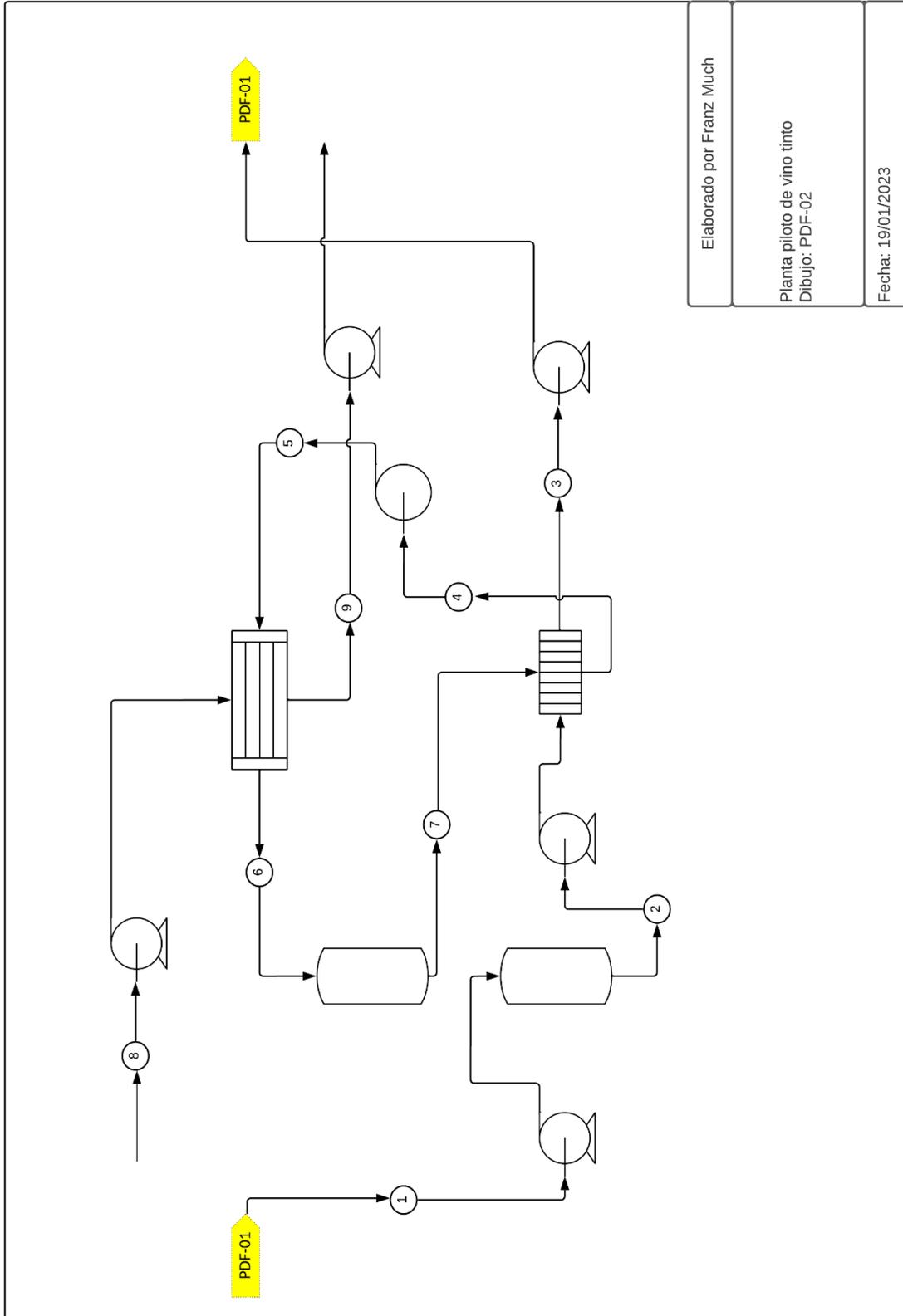
Figura 9. Balance de masa y energía del proceso representado en un diagrama de bloques.



Cuadro 6. Flujos para el diagrama de proceso de elaboración de vino.

Flujo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre del flujo	Racimo	Uva	Mosto	Fermentado	Producto centrifugado	Producto terminado	Producto maduro	Producto para embotellado	Dióxido de carbono	Tallo	Residuos del mosto	Biomasa
Flujo másico (kg/batch)	1,455.56	1,339.11	1,071.29	975.31	972.00	972.01	972.01	972.01	96.79	116.44	267.82	3.31
Densidad (kg/m ³)	N/A	N/A	1,090.00	1,112.00	1,090.00	1,090.00	1,090.00	1,090.00	1.52	N/A	N/A	N/A
Temperatura (°C)	N/A	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	N/A	N/A	N/A
Presión (bar)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.85	N/A	N/A	N/A

Figura 11. Diagrama de flujo del ciclo de refrigeración.



Cuadro 7. Flujos para el diagrama de proceso de refrigeración.

Flujo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nombre del flujo	Mezcla Propilenglicol- Agua Caliente	Mezcla Propilenglicol- Agua Caliente	Mezcla Propilenglicol- Agua Frío	CO ₂ Expandido	CO ₂ Comprimido	CO ₂ Condensado	Refrigerante CO ₂	Agua fría	Agua Caliente
Flujo másico (kg/batch)	2,329.71	2,329.71	2,329.71	1,504.82	1,504.82	1,504.82	1,504.82	5,912.29	5,912.29
Densidad (kg/m ³)	1017.00	1017.00	1017.00	925.87	167.48	639.98	925.87	1,000.00	1,000.00
Temperatura (°C)	27.00	27.00	5.00	0.16	52.42	28.68	0.16	20.00	30.00
Presión (bar)	N/A	N/A	N/A	35	70	70	35	N/A	N/A
Energía (kJ/h)	N/A	-206,039.64	206,039.64	206,039.64	-247,310.90	206,039.64	206,039.64	247,310.90	

Figura 12. Ficha de especificación del equipo de prensado.

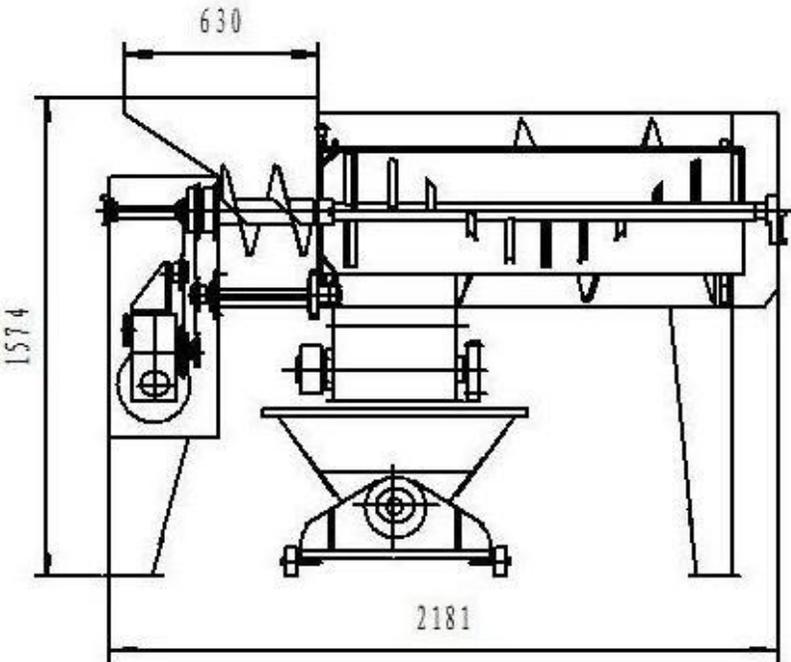
	DOCUMENTO NO.	FICHA DE ESPECIFICACIÓN DE PENSADO			PÁG: 1
	W-P01	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO		UBICACIÓN: A DEFINIR	
	PRENSA P-01	28/2/2023	Para cotización	5	
	FECHA	MOTIVO	REVISIÓN		
NOMBRE DEL EQUIPO: PRENSA					CANT: 1
PROVEEDOR: A DEFINIR			TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE		
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN			MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
Fluido de entrada:	Uva		Cuerpo del equipo	SA 240 Gr.SS316	
Flujo de entrada (kg)	1400		Marco	SA 240 Gr.SS316	
Flujo máximo de entrada (kg)	1500		Boquillas	SA 240 Gr.SS316	
Temperatura de materia prima (°C)	25		Marco inferior	Hierro fundido	
Potencia de motor (kW)	0.55		Empaque	Caucho EPDM (aprobado FDA)	
Tensión (V)	230				
Tipo de motor	Monofásico				
			CÉDULA DE BOQUILLA		
Dimensiones del equipo			BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO
			N1	35.052	Salida del mosto
Alto	580	mm			
Ancho	500	mm			
Largo	1120	mm			
Peso	40	kg			
Dimensiones de la tolva					
Largo	850	mm			
Ancho	410	mm			
Observaciones:					
1. Equipo será controlado por un PLC.					
2. Se contará con la siguiente instrumentación: Variador de frecuencia, termocuplas para control de equipo y de materia prima, flujómetro para descarga del líquido y transmisor de presión.					
3. Se contará con los siguientes mecanismos de seguridad: Botón de paro de emergencia, protección térmica y LOTO para mantenimiento y limpieza del equipo.					
EJEMPLO DEL DIAGRAMA DEL EQUIPO					
					

Figura 13. Ficha de especificación del equipo de fermentación (reactor).

DOCUMENTO NO. W-R01	FICHA DE ESPECIFICACIÓN DE REACTOR BATCH			PÁG: 1					
	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO		UBICACIÓN: A DEFINIR						
	REACTOR R-01	28/2/2023	Para cotización	5					
	FECHA	MOTIVO	Revisión						
NOMBRE DEL EQUIPO: REACTOR				CANT: 1					
PROVEEDOR: A DEFINIR		TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE							
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN									
	Contenedor	Chaqueta							
Fluido	Mosto	CO2							
Temperatura de operación (°C)	36	0.16							
Presión de operación (kPag)	200	3500							
Temperatura de diseño (°C)	180	180							
Presión de diseño (kPag)	758	5200							
Código de construcción	ASME Sec. VIII Div. 1	ASME Sec. VIII Div. 1							
Libreación de estrés	De acuerdo a código	De acuerdo a código							
Eficiencia de uniones	85%	85%							
Volumen total	1.05 m ³								
Volumen de trabajo	1.26 m ³								
Identificación de carcasa	-	mm							
Altura	2096	mm							
Diámetro	873	mm							
Atura de chaqueta	2000	mm							
Alto de soporte	300	mm							
Corrosión permitida	2.00	mm							
Grosor de insulación	N/A	mm							
Grosor de la carcasa	2.06	mm							
Grosor de los platos	N/A	mm							
Grosor de la chaqueta	50	mm							
Peso vacío	94.80	kg							
Peso lleno de agua	1094.80	kg							
Número de deflectores	4								
Altura	1500 mm								
Turbina	6 palas verticales								
Altura	0.11 m								
Diámetro	0.44 m								
Potencia de motor	20 kW								
Velocidad	300 RPM								
Tipo de soporte	Falda								
Cantidad de soportes	3								
Observaciones: 1. Agregar añadir "Man-Hole" para limpieza y mantenimiento. 2. Agregar válvula para tomar muestras. 3. Tubería de salida con válvula de mariposa. 4. Cotizar "Spray Ball" para limpieza del tanque. 5. Agregar luz y mirilla de inspección. 6. Se necesita variador de frecuencia (voltaje 220). 7. Se contará con la siguiente instrumentación: termocuplas para control del proceso, sensor de flujo y de presión. 8. Se contará con los siguientes mecanismos de seguridad: Válvula de alivio, alarmas para nivel en el equipo y botón de paro de emergencia. 9. Este equipo contará con un PLC.									
					MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
					Carcasa principal	SA 240 Gr.SS316			
					Platos	SA 240 Gr.SS316			
					Bridas de la boquillas	SA 240 Gr.SS316			
					Tuberías de boquillas	SA 240 Gr.SS316			
					Chaqueta	CS			
					Deflectores	SA 240 Gr.SS316			
					Soporte	IS 2062			
					Tuercas	MS			
Empaque	CAF								
Turbina	SA 240 Gr.SS316								
BOQUILLAS									
BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO	CANT.						
N1	35.05	Entrada	1						
N2			1						
N3			1						
N4			1						
N5	35.05	Salida inferior	1						
N6			1						
L1			1						
C2	35.05	Salida de utilidades	1						
C1	35.05	Entrada de utilidades	1						
M			1						

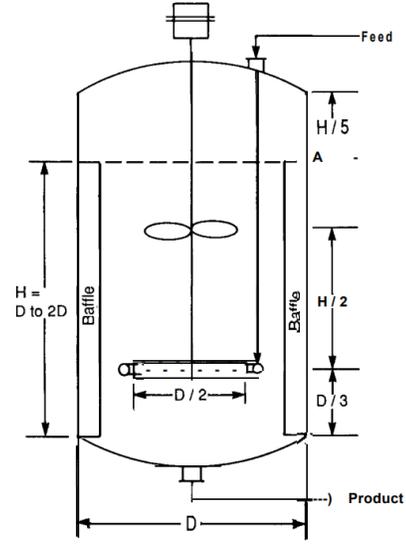


Figura 14. Ficha de especificación del equipo de centrífuga.

	DOCUMENTO NO.	FICHA DE ESPECIFICACIÓN DE CENTRÍFUGA			PÁG: 1
	W-C01	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO			UBICACIÓN: A DEFINIR
	CENTRÍFUGA DE DISCOS C-01	28/02/2023	Para cotización	6	
		FECHA	MOTIVO	REVISIÓN	
NOMBRE DEL EQUIPO: CENTRÍFUGA DE DISCOS		TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE			CANT: 1
PROVEEDOR: A DEFINIR					
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN			MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
Fluido de entrada:	Fermentado		Cuerpo del equipo	SA 240 Gr.SS318	
Características:	Líquido con biomasa suspendida		Marco	SA 240 Gr.SS316	
Flujo de operación (L/h)	900		Ciclón	SA 240 Gr.SS316	
Flujo máximo (L/h)	2000		Marco inferior	Hierro fundido	
Velocidad de la centrífuga (1/min)	6100		Boquillas	SA 240 Gr.SS316	
Velocidad máxima (1/min)	9650		Empaque	Caucho EPDM (aprobado FDA)	
Potencia del motor (kW)	7.5				
Temperatura del flujo (°C)	30				
Presión de máxima (kPa)	200				
Tensión (V)	120				
Tipo de motor	Monofásico				
			CÉDULA DE BOQUILLA		
Dimensiones			BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO
			N1	26.65	Entrada
			N2	26.65	Salida fluido
Alto	940	mm	N3	10	Salida sólidos
Ancho	845	mm			
Largo	880	mm			
Peso	600	kg			
Observaciones:					
<ol style="list-style-type: none"> Equipo para especializado para remover microorganismos (levadura). Este equipo contará con un PLC. Se contará con la siguiente instrumentación: Sensor de velocidad, temocupla para control del producto y equipo, sensor de presión, flujómetro. Se contará con los siguientes mecanismos de seguridad: Protección de velocidad, botón de paro de emergencia, monitor de vibraciones, monitor de temperatura y de energía. 					
<p>4.1. Separador Centrifugo 1: 10</p> <p>4.2. Separador Centrifugo 1: 10</p>					

Figura 15. Ficha de especificación del tanque de producto terminado.

DOCUMENTO NO. W-T01	FICHA DE ESPECIFICACIÓN TANQUE PRODUCTO TERMINADO			PÁG: 1
	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO			UBICACIÓN: A DEFINIR
	TANQUE DE PT T-01	28/02/2023	Para cotización	4
	FECHA	MOTIVO	REVISIÓN	
NOMBRE DEL EQUIPO: TANQUE DE PRODUCTO TERMINADO				CANT: 1
PROVEEDOR: A DEFINIR		TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE		
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN			MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
Fluido	Contenedor	Carcasa principal	SA 240 Gr.SS316	
	Vino	Bridas de la boquillas	SA 240 Gr.SS316	
Temperatura de operación (°C)	20	Tuberías de boquillas	SA 240 Gr.SS316	
Presión de operación (kPa)	200	Soporte	IS 2062	
Temperatura de diseño (°C)	180	Tuercas	MS	
Presión de diseño (kPa)	300	Empaque	CAF	
Código de construcción	ASME Sec. VIII Div. 1			
Libreación de estrés	De acuerdo a código			
Eficiencia de uniones	85%	BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO
		N1	26.65	Entrada
Volumen total	1.2	m ³	N2	
Volumen de trabajo	1	m ³	N3	
			N4	
Altura	1993	mm	N5	26.65
Diámetro	831	mm	N6	
Alto de soporte	300	mm	L1	
Corrosión permitida	2	mm	C2	
Grosor de la carcasa	2.06	mm	C1	
			M	
Peso vacío	85.72	kg		
Peso lleno de agua	1085.72	kg		
Tipo de soporte	Falda			
Cantidad de soportes	3			

- Observaciones:
1. Agregar visor.
 2. Agregar toma muestra con válvula de globo.
 3. Agregar añadir "Man-Hole" para limpieza y mantenimiento.
 4. Cotizar "Spray Ball" para limpieza del tanque.
 5. Agregar luz y mirilla de inspección.
 6. Instrumentación: Sensor de temperatura y de nivel.
 7. Mecanismos de seguridad: Botón para cierre de válvulas y alarma de temperatura.

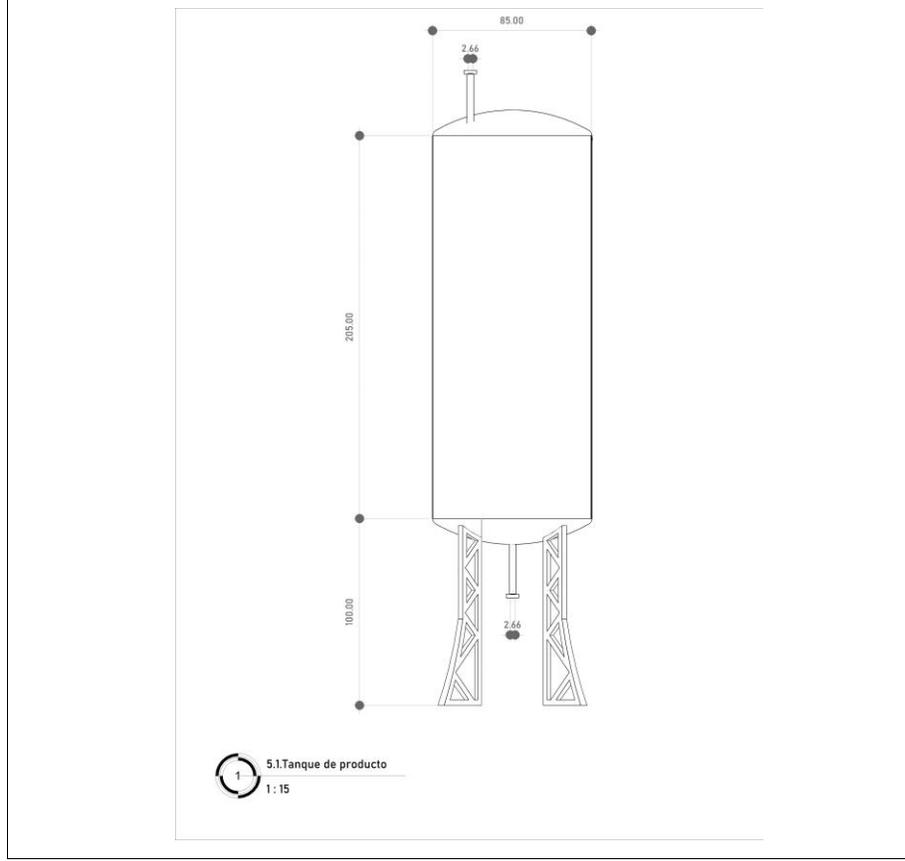


Figura 17. Ficha de especificación de intercambiador de calor.

	DOCUMENTO NO.	FICHA DE ESPECIFICACIÓN INTERCAMBIADOR DE CALOR			PÁG: 1
	W-I01	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO		UBICACIÓN: A DEFINIR	
	INTERCAMBIADOR DE CALOR I-01	28/02/2023	Para cotización	5	
	FECHA	MOTIVO	REVISIÓN		
NOMBRE DEL EQUIPO: INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS					CANT: 1
PROVEEDOR: A DEFINIR			TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE		
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN					
	LADO CALIENTE		LADO FRÍO		
	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	
Fluido a circular	Propilenglicol (20%) - agua (80%)		Dióxido de carbono		
Flujo del líquido (kg/h)	6.47		4.18		
Líquido	100%		59%	0%	
Vapor	N/A		41%	100%	
Condensado	N/A		N/A		
Gravedad específica	1.017		0.927		
Viscosidad (cP)	2.86		0.1		
Calor específico (kJ/kg-K)	4.02		2.47		
Conductividad térmica (W/m-K)	0.48		0.11		
Temperatura (°C)	27	5	0.16	0.16	
Presión de operación (Bar)	1.01		7		
Número de pasos	10		10		
Velocidad de canal (m/s)	0.055		0.039		
Calor intercambiado (W)			57,233		
CONSTRUCCIÓN					
Material de construcción					
Marco	SA 240 Gr.SS316				
Placas	SA 240 Gr.SS316				
Empaque	CAF				
DIMENSIONES					
Conexiones	ENTRADA		SALIDA		
Lado caliente	26.65	mm	26.65	mm	
Lado frío					
PLACAS					
Dimensiones					
Alto	0.88		m		
Largo	0.39		m		
Ancho	0.003		m		
Observaciones:					
1. Se tendrá un PLC en este equipo.					
2. La instrumentación utilizada será: Sensor de temperatura, sensor de presión, flujometro y válvulas de control.					
3. Los mecanismos de seguridad serán: Válvulas de alivio, "switches" para límites de temperatura y botón de paro de emergencia.					

DOCUMENTO NO. W-I01	FICHA DE ESPECIFICACIÓN INTERCAMBIADOR DE CALOR		PÁG: 2
	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO		UBICACIÓN: A DEFINIR
INTERCAMBIADOR DE CALOR I-01	28/02/2023	Para cotización	5
	FECHA	MOTIVO	REVISIÓN

DIAGRAMA

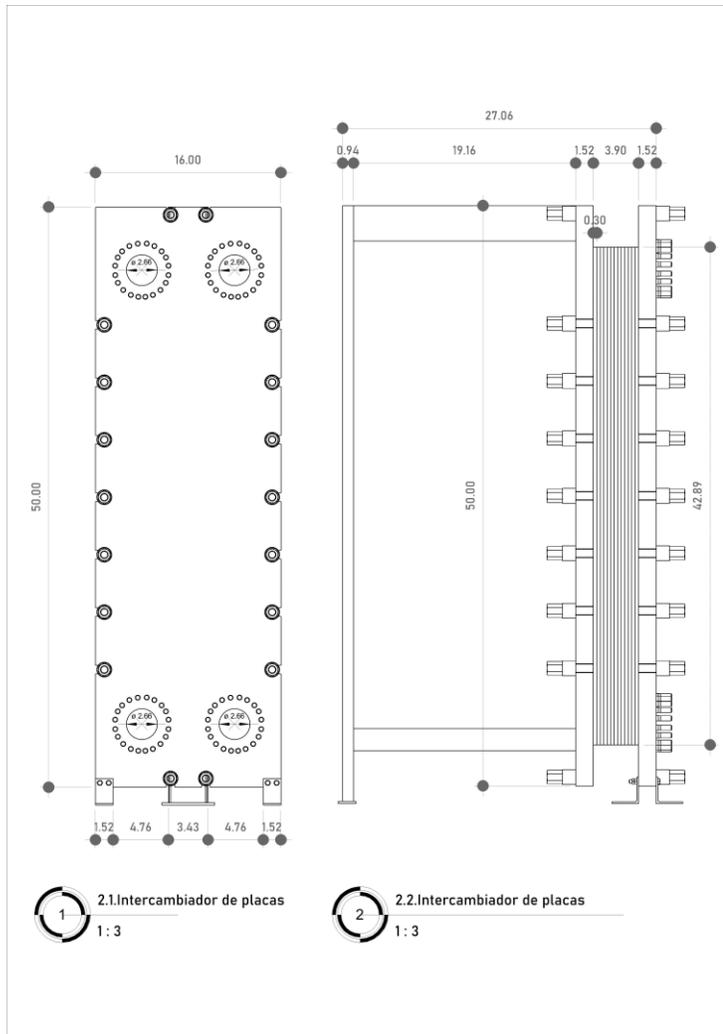


Figura 18. Ficha de especificación del ciclo de refrigeración.

DOCUMENTO NO.		FICHA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN			PÁG: 1
W-CR01		PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO			UBICACIÓN: A DEFINIR
EQUIPO DE REFRIGERACIÓN					
CR-01		28/02/2023	Para cotización	4	
		FECHA	MOTIVO	REVISIÓN	
NOMBRE DEL EQUIPO: EQUIPO DE REFRIGERACIÓN					CANT: 1
PROVEEDOR: A DEFINIR			TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE		
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN					
COMPRESOR					
Fluido	CO ₂ líquido				
Presión de operación (kPa)	7000				
Potencia del compresor (kJ/h)	114.64				
Tensión (V)	120				
CONDENSADOR					
Fluido a utilizar	Agua				
Temperatura inicial del fluido (°C)	20				
Temperatura final del fluido (°C)	30				
Masa de agua a utilizar (kg/h)	16.42				
Energía a retirar del refrigerante (kJ/h)	686.97				
EXPANSIÓN					
Presión final (kPa)	3500				
EVAPORADOR					
Flujo (kg/h)	4.18				
Energía a transmitir a fluido caliente (kJ/h)	572.33				
Fluido caliente	Propilenglicol (20%) - Agua (80%)				
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN					
Carcasa	SA 240 Gr.SS304				
Empaque	SA 240 Gr.SS304				
Soporte de empaque	SA 240 Gr.SS304				
Material del ventilador	Aleación de aluminio				
Observaciones:					
1. Ciclo de refrigeración, condensador utilizará agua.					
2. Estos equipos utilizarán un PLC en conjunto.					
3. Se utilizará la siguiente instrumentación: Sensores de presión, sensores de temperatura, flujómetros, sensores de corriente, voltaje y niveles de lubricante para el compresor.					
4. Los mecanismos de seguridad serán: "Switches" de alta y baja presión, "switches" para temperatura, válvulas de alivio y sistema de apagado de emergencia.					
CÉDULA DE BOQUILLA					
BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO			CANT.
N1	26.65	Entrada refrigerante			1
N2	26.65	Salida refrigerante			1

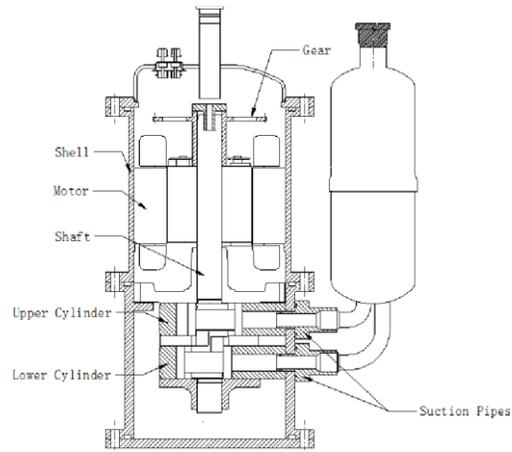


Figura 19. Ficha de especificación de tanque de almacenamiento de propilenglicol – agua.

DOCUMENTO NO. W-T02		FICHA DE ESPECIFICACIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO			PÁG: 1
TANQUE DE PT T-02		PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO			UBICACIÓN: A DEFINIR
		28/02/2023	Para cotización	3	
		FECHA	MOTIVO	REVISIÓN	
NOMBRE DEL EQUIPO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO MEZCLA PROPILENGLICOL-AGUA					CANT: 1
PROVEEDOR: A DEFINIR		TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE			
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN			MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
Fluido	Contenedor	Carcasa principal		SA 240 Gr.SS316	
	Propilenglicol - Agua	Bridas de la boquillas		SA 240 Gr.SS316	
Temperatura de operación (°C)	27	Tuberías de boquillas		SA 240 Gr.SS316	
Presión de operación (kPa)	200	Soporte		IS 2062	
Temperatura de diseño (°C)	180	Tuercas		MS	
Presión de diseño (kPa)	300	Empaque		CAF	
Código de construcción	ASME Sec. VIII Div. 1				
Libreación de estrés	De acuerdo a código		BOQUILLAS		
Eficiencia de uniones	85%	BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO	CANT.
		N1	26.65	Entrada	1
Volumen total	1.2	m ³	N2		1
Volumen de trabajo	1	m ³	N3		1
			N4		1
Altura	1993	mm	N5	26.65	Salida inferior
Diámetro	831	mm	N6		1
Alto de soporte	300	mm	L1		1
Corrosión permitida	2	mm	C2		1
Grosor de la carcasa	2.06	mm	C1		1
			M		
Peso vacío	85.72	kg			
Peso lleno de agua	1085.72	kg			
Tipo de soporte	Falda				
Cantidad de soportes	3				
Observaciones:			3. Instrumentación: Sensor de temperatura y de nivel.		
1. Agregar válvula de mariposa a la tubería de salida.			4. Mecanismos de seguridad: Botón para cierre de válvulas y alarma de temperatura.		
2. Agregar compuerta para lavado e inspección visual.					
<p>5.1.Tanque de producto 1: 15</p>					

Figura 20. Ficha de especificación de tanque de almacenamiento de R744.

DOCUMENTO NO. W-T03	FICHA DE ESPECIFICACIÓN TANQUE DE ALMACENAMIENTO			PÁG: 1	
	PROYECTO: PLANTA PILOTO DE VINO TINTO			UBICACIÓN: A DEFINIR	
	TANQUE DE PT T-03	28/02/2023	Para cotización	3	
	FECHA	MOTIVO	REVISIÓN		
NOMBRE DEL EQUIPO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO CO2 - PRESURIZADO				CANT: 1	
PROVEEDOR: A DEFINIR		TIPO: BRIDA/MONOBLOQUE			
INFORMACIÓN MECÁNICA/DE OPERACIÓN			MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
Fluido	Contenedor	Carcasa principal		Acero	
	CO ₂ líquido	Bridas de la boquillas		SA 240 Gr.SS316	
Temperatura de operación (°C)	28,68	Tuberías de boquillas		SA 240 Gr.SS316	
Presión de operación (kPa)	7000	Soporte		IS 2062	
Temperatura de diseño (°C)	180	Tuercas		MS	
		Empaque		CAF	
		Carcasa secundaria		SA 240 Gr.SS316	
Código de construcción	ASME Sec. VIII Div. 1				
Libreación de estrés	De acuerdo a código		BOQUILLAS		
Eficiencia de uniones	85%	BOQUILLA	TAMAÑO (mm)	SERVICIO	CANT.
		N1	26.65	Entrada	1
Volumen total	1.2	m ³	N2		1
Volumen de trabajo	1	m ³	N3		1
			N4		1
Altura	1993	mm	N5	26.65	Salida inferior
Diámetro	831	mm	N6		1
Alto de soporte	300	mm	L1		1
Corrosión permitida	2	mm	C2		1
Grosor de la carcasa	2.06	mm	C1		1
			M		
Peso vacío	85.72	kg			
Peso lleno de agua	1085.72	kg			
Orientación	Horizontal				
Tipo de soporte	Falda				
Cantidad de soportes	3				
Observaciones:					
1. Agregar añadir "Man-Hole" para limpieza y mantenimiento.			4. Se contará con la siguiente instrumentación: termocuplas para control del proceso, sensor de flujo y de presión.		
2. Cotizar "Spray Ball" para limpieza del tanque.			5. Se contará con los siguientes mecanismos de seguridad: Válvula de alivio, alarmas para nivel en el equipo y botón de paro de emergencia.		
3. Agregar luz y mirilla de inspección.					
<p>5.1.Tanque de producto 1: 15</p>					

Cuadro 8. Estimación de costo de equipos.

Equipo	Cantidad	Costo total (\$)
Bomba centrífuga	10	\$ 35,094.56
Reactor enchaquetado	1	\$228,885.84
Tanque PT	1	\$ 12,606.08
Centrífuga	1	\$165,300.00
Equipo de refrigeración	1	\$ 79,750.00
Intercambiador de placas	1	\$ 1,670.00
Prensado	1	\$ 1,400.00
Total general		<u>\$524,706.47</u>

Basado en: (Perry & Green, 2008).

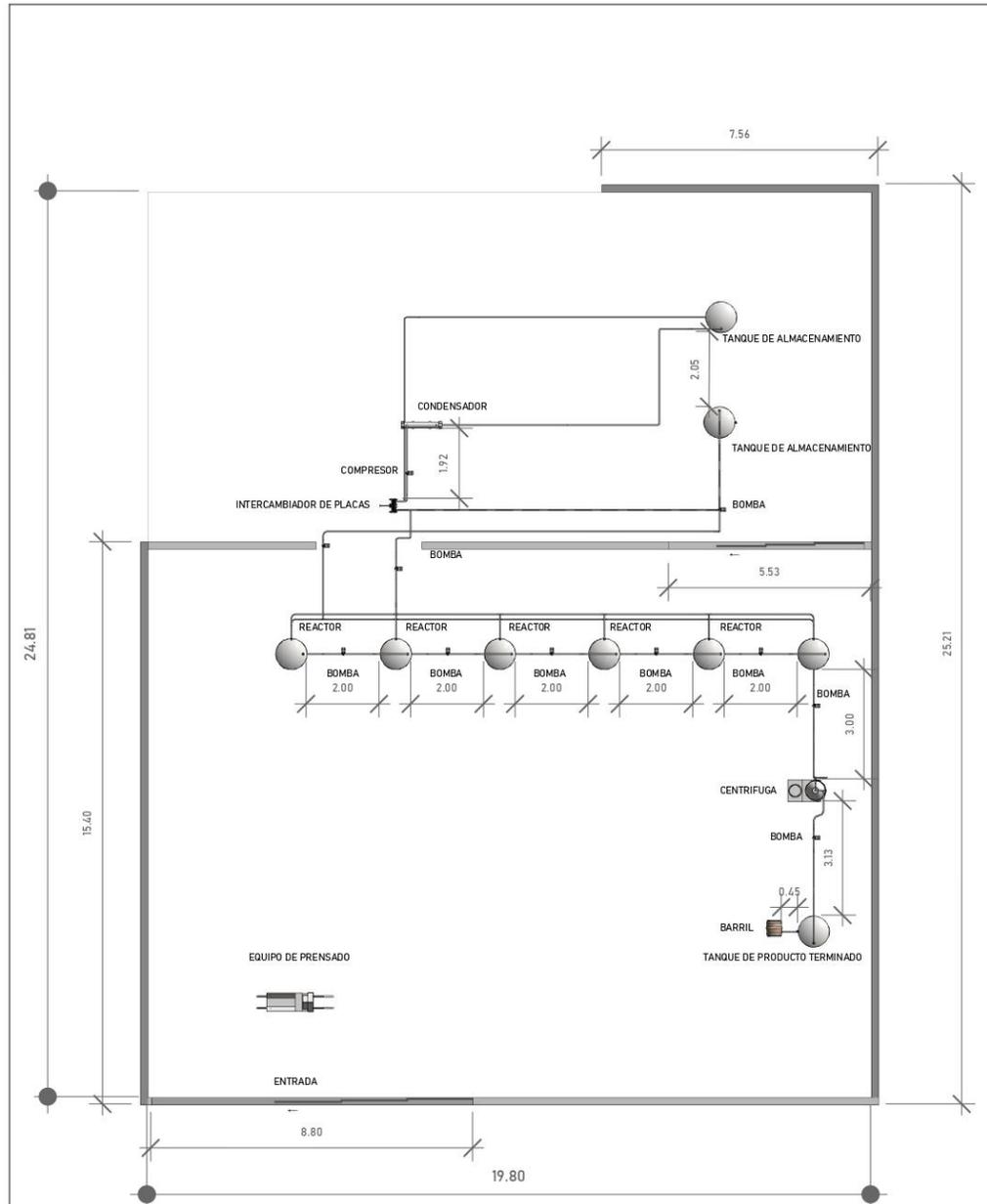
Cuadro 9. Estimación de accesorios e instrumentación del proceso.

Ítem	Cantidad	Unidad	Costo total (\$)
Tubería acero inox. 316	48.43	m	\$ 16,695.61
Codo 90°	27	UN	\$ 675.00
T de unión	12	UN	\$ 204.00
Válvulo de globo	7	UN	\$ 105.00
PLC	4	UN	\$ 1,940.00
Variador de frecuencia	2	UN	\$ 578.00
Sensor temperatura	14	UN	\$ 2,030.00
Sensor de flujo	12	UN	\$ 4,308.00
Sensor de presión	12	UN	\$ 4,200.00
Sensor de nivel	2	UN	\$ 660.00
Válvula de alivio	9	UN	\$ 540.00
Total general			<u>\$ 31,935.61</u>

Cuadro 10. Comparación costos de bomba centrífuga.

Equipo	Costo teórico (\$)	Costo real (\$)	Diferencia (%)
Bomba centrífuga	\$ 3,509.46	\$ 956.51	267%

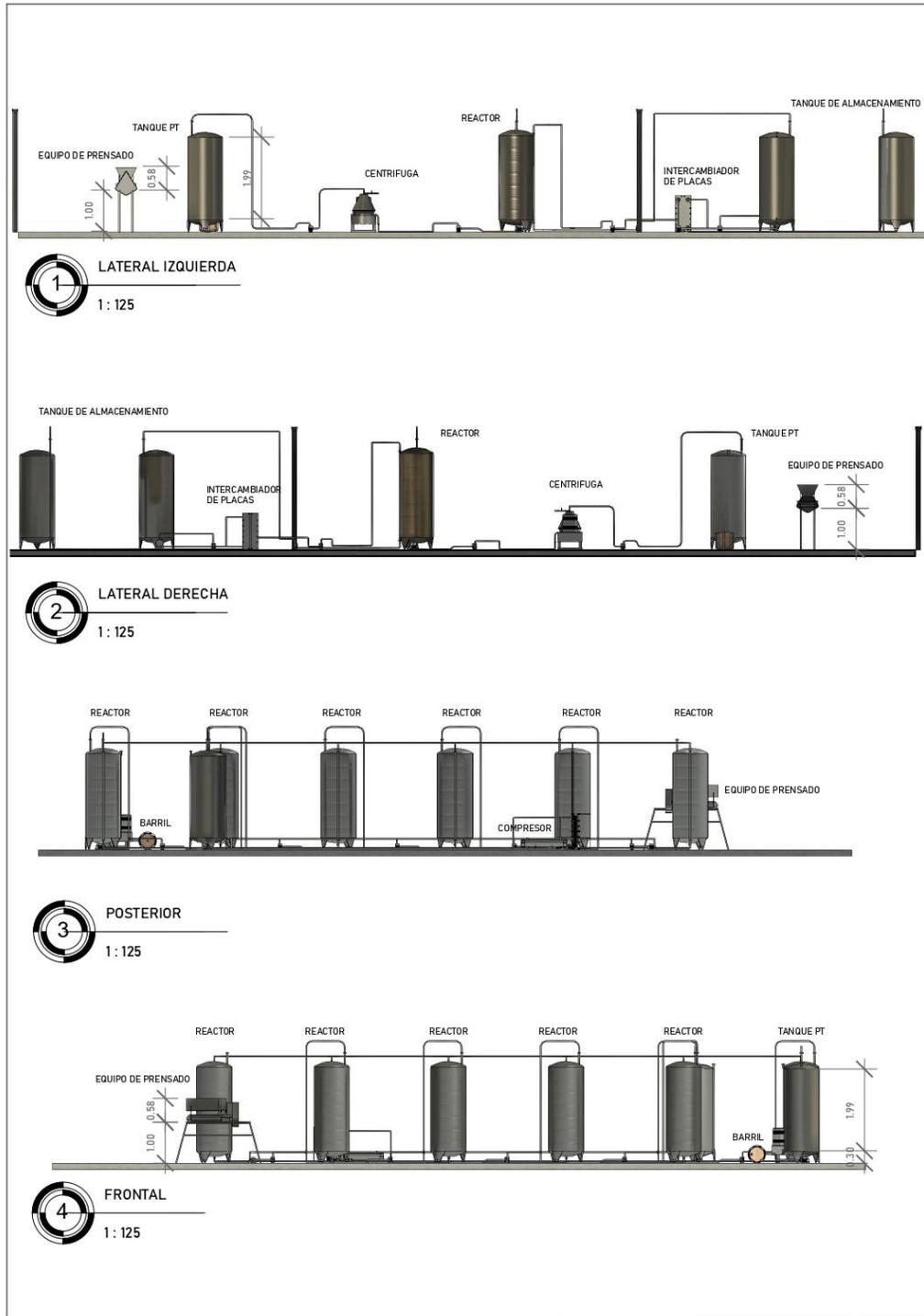
Figura 21. Plano de vista de planta de la distribución de equipos de la planta.



1 Planta de vino
1 : 150

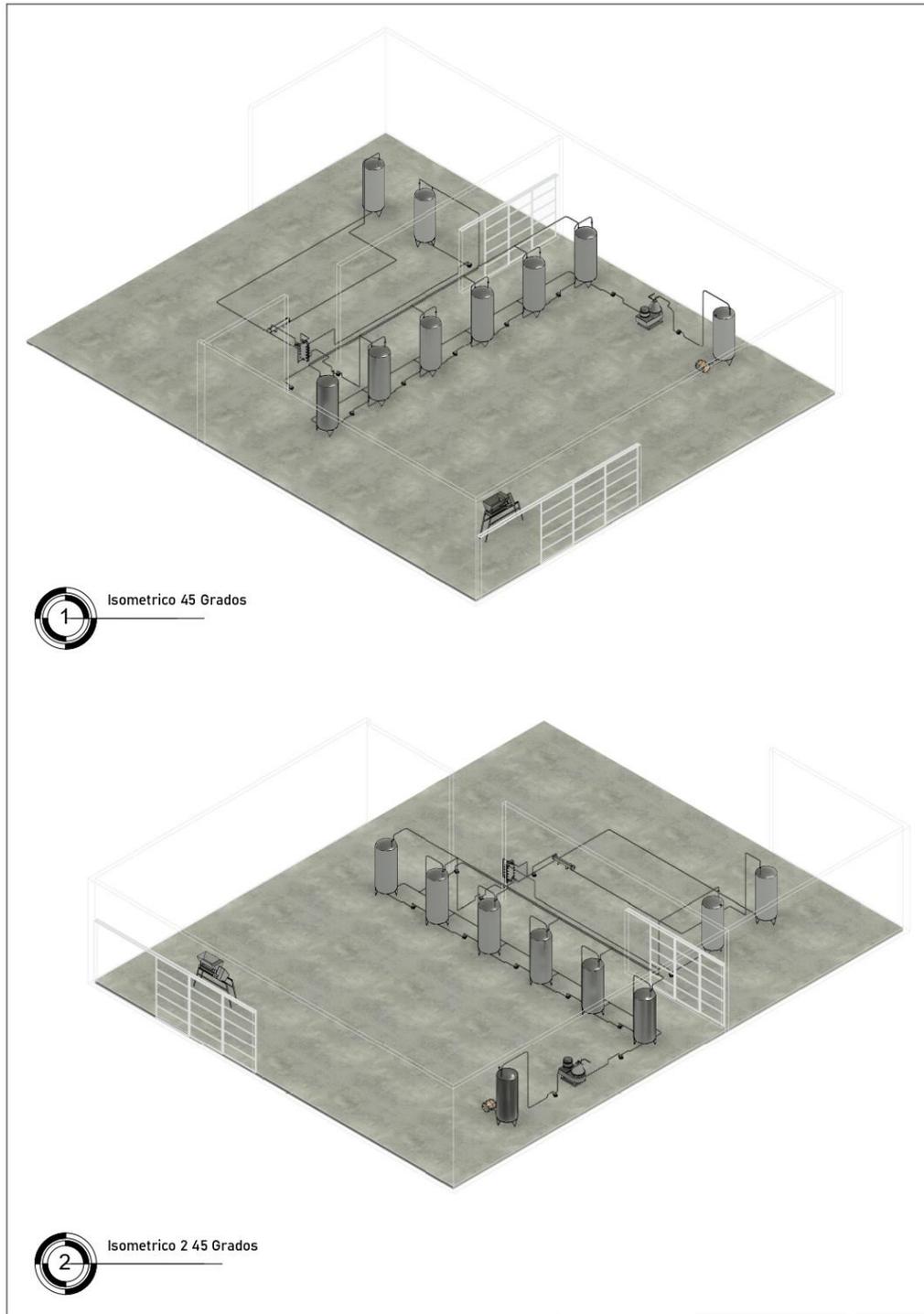
Nombre: Franz Eduardo Much Mata	Escala: 1 : 150	1.1 1
Fecha: 17/01/2023	Proyecto: Planta piloto de vino tinto	

Figura 22. Plano de vista de elevación de la distribución de equipos de la planta.



Nombre: Franz Eduardo Much Mata	Escala: 1 : 125	1.2 1
Fecha: 17/01/2023	Proyecto: Planta piloto de vino tinto	

Figura 23. Vista isométrica a 45° de la distribución de equipos de la planta.



Nombre: Franz Eduardo Much Mata	Escala: 1 : 200	1.3 1
Fecha: 17/01/2023	Proyecto: Planta piloto de vino tinto	

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como principal objetivo de este trabajo se buscó elaborar el diseño de una planta piloto de vino tinto, esto con la finalidad que pueda ser utilizada para investigación y el crecimiento de esta industria en el país.

El primer objetivo consistió en la elaboración del balance de masa y energía del proceso utilizando la base de cálculo, se determinaron como principales etapas del proceso: prensado, extracción, fermentación (reacción química), centrifugado y estabilización/maduración. Estas etapas fueron seleccionadas ya que se posee bastante información acerca del proceso en cuestión.

Del balance de masa y energía se determinó la cantidad de materiales que se necesitan para realizar el proceso. Se determinó una base de cálculo de 900 L (o 972 kg) de producto terminado, este valor se debe a que equivale a 3 barricas de 225 L las cuales son suficientes para poder realizar todas las pruebas fisicoquímicas, microbiológicas, mantener el producto en estabilidad y producto para degustación. Para obtener este volumen de producto terminado, se debe partir de 1 456 kg uva, 0.82 kg de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, 0.01 kg de bisulfito y un flujo de 6.47 kg/h de una mezcla de propilenglicol – agua (20-80% m/m) para extraer el calor del fermentador. En las figuras 9, 10 y 11 y cuadros 6 y 7 se pueden observar el balance representado un diagrama de flujo, siendo este el diagrama principal para el diseño del proceso. La Figura 10 muestra el proceso principal de la elaboración del vino que termina en el llenado en barricas de 225 L. La Figura 11 muestra el ciclo de refrigeración que disminuye la temperatura a la mezcla de propilenglicol – agua utilizada en el reactor.

El segundo objetivo consistió en elaborar las fichas de especificación de los equipos y determinar los costos de estos, esto a partir del balance de masa y energía. En cada ficha de especificación se muestra la instrumentación y los mecanismos de seguridad que se solicitan al proveedor. Las conexiones que tienen contacto con la materia prima y el producto deben ser “tri-clamp” para mantener la inocuidad del proceso. Seleccionada la tecnología, se determinó la ficha de especificación del primer equipo.

La Figura 12 muestra las especificaciones que se le trasladarán al proveedor acerca del equipo que se busca para poder realizar la operación del prensado. En este caso se determinó que el equipo deberá tener capacidad para procesar 1 456 kg de materia prima (uva) y un máximo de 1 500 kg, esto ya que el objetivo de la planta es su crecimiento conforme el tiempo pase, también se determinó que la potencia del motor para poder realizar la extracción es de 0.55 W esto para poder obtener los jugos (que desde ahora llamaremos “mosto”) de nuestra materia. Se seleccionó un equipo tradicional de prensado ya que se tomó en consideración un equipo especializado para la termovinificación, pero este implicaba una alta inversión adicional para la planta, aunque se recomienda tomar en cuenta esta alternativa ya que resume los primeros pasos de la elaboración del vino y posee la capacidad de dar al producto terminado un mejor color (en el caso de los vinos rojos). Las dimensiones de este equipo son: 1120 mm x 500 mm x 580 mm. También este equipo cuenta con una tolva para la recepción de los racimos de uva, esta tiene dimensiones de: 850 mm x 410 mm.

En la Figura 13 se muestra la ficha de especificaciones del reactor tipo batch, este equipo será en el que se realice la fermentación alcohólica con la cepa propuesta. El equipo tiene un volumen total de 1.26 m³, volumen de trabajo de 1.05 m³ con dimensiones de: 2096 mm de altura (solamente el cilindro), diámetro de 873 mm. El equipo será expuesto a una presión de aproximadamente 200 kPa, esto debido a que como metabolito se genera CO₂ y la presión máxima que soportará el tanque será de 300 kPa. Se determinó que el grosor de la carcasa será de 2.3 mm y de igual manera, debido a que la reacción genera energía, se solicita una chaqueta de hoyuelos (dimple jacket) que es la comúnmente utilizada en la elaboración del vino, por dentro de estas pasará una mezcla de propilenglicol – agua a una temperatura de 5°C para que la temperatura de la operación no exceda de la ideal. Se mantiene como material de construcción el acero inoxidable 316 en el cilindro principal para poder mantener la inocuidad del producto. Se tendrán 4 tuberías, 2 para la carcasa principal y 2 para el enchaquetado, las tuberías tendrán un diámetro de 26.65 mm. Adicional a esto también se solicita un agitador con variador de frecuencia para poder homogenizar el mosto, se toma como velocidad máxima 300 RPM ya que esta muestra las mejores condiciones para el proceso y se evita la muerte celular por estrés cortante. La agitación se logrará gracias a 4 deflectores, una turbina de 6 palas verticales con altura de 0.11 m y un diámetro de 0.44 m. La potencia del motor de la turbina es de 20 kW, adicional a esto también se contará con un variador de frecuencia para poder modificar la velocidad de la turbina, para esto es necesario contar con un voltaje de 220 voltios.

En la Figura 14 se muestra la ficha de especificaciones para la centrífuga, este equipo será el responsable de separar la biomasa por medio de fuerza centrífuga, se escoge un equipo de discos con un flujo de operación de 1 010 kg/h y un flujo máximo de 2 000 kg/h, la velocidad necesaria para realizar la separación es de 6 100 rpm, pero con una velocidad máxima de 9 650 rpm. Para la operación se necesita contar con un motor con potencia de 7.5 kW. Las dimensiones de este equipo son: 0.94 x 0.85 x 0.88 m, el peso total es de 600 kg. Se mantienen como principal material de construcción el acero inoxidable, para la base se utiliza hierro fundido y para los empaques caucho EPDM que está aprobado por la FDA. Se cuentan con 3 boquillas, 2 para entrada y salida del flujo y una para los sólidos (biomasa) para las principales se mantienen los 26.65 mm de diámetro y para la salida de sólidos de 10 mm se considera como suficiente. Es importante que se evite la contaminación cruzada después de la operación de fermentación ya que podemos encontrar microorganismos que pueden desbaratar el producto ya centrifugado.

La Figura 15 muestra la ficha de especificación del tanque de producto terminado, este posee un modelaje similar al reactor, en este tendremos nuestro producto terminado hasta que sea momento para su despacho. Buscamos que la temperatura del fluido en el tanque sea de 20 a 25°C, 200 kPa la presión de operación y una presión de diseño de 200 kPa. El volumen del tanque es de 1.2 m³ con dimensiones de: 1993 mm de altura, 831 mm de diámetro y un grosor de la carcasa de 2.3 mm. De igual manera mantenemos los 4 soportes y los materiales de construcción se mantienen en acero inoxidable. La tubería de entrada y salida poseen un diámetro de 26.65 mm.

La Figura 16 muestra las especificaciones de la bomba centrífuga que utilizaremos para trasladar el flujo de una operación a otra, en este caso buscamos una bomba con un flujo máximo de 45 L/min, cabeza máxima de 38 m, succión máxima de 9 m. Esperamos que la temperatura máxima del fluido a transportar sea de al menos 70 °C, este se mantiene a este valor para que no haya ningún problema con las temperaturas que manejamos en los fluidos. La potencia de esta bomba será de 0.45 kW, esto será suficiente para transportar el flujo a la velocidad que nos brinda la literatura para fluidos similares al agua (menos de 1.5 m/s velocidad lineal). Buscamos que el cuerpo y el impulsor se mantenga el material de acero inoxidable y el motor de cobre. Mantenemos ya que nuestras tuberías son del mismo diámetro, buscamos que esta bomba tenga las boquillas de estos tamaños. La curva característica de la bomba se puede observar en la figura.

La Figura 17 muestra la ficha de especificaciones del intercambiador de calor, en este caso se determinó que se utilizará un intercambiador de placas, esto debido a su alto uso en plantas de alimentos y por las propiedades de este equipo que se acoplan a nuestro proceso que busca no abarcar más espacio del necesario. Se determina que este equipo deberá tener la capacidad para disminuir la temperatura de la mezcla de refrigerante de 27°C (temperatura máxima anual) a 5°C, la potencia de este equipo será de 57,233 W. El equipo contará con placas de 0.875 m de alto, 0.39 m de largo y un espesor de 3 mm, serán 32 placas en total que equivalen a 15 pasos con un área total de transferencia de calor de 22.97 m². En el lado frío se utilizará como dióxido de carbono como refrigerante, este mantendrá a su temperatura en la entrada y en la salida a 0.16 °C, pero en este caso cambiará su estado, en la entrada tendremos una calidad de 41% de vapor, mientras que en la salida el fluido se evaporará totalmente. De igual manera, este equipo está construido por acero inoxidable 316, las tuberías de entrada y salida de cada lado serán de 26.65 mm de diámetro.

En la Figura 18 se muestra la ficha de especificación del ciclo de refrigeración requerido para la operación. Debido a la complejidad del refrigerante que se está utilizando, estos son especializados. Para el compresor se necesita uno que pueda operar a 7000 kPa (70 bar), se determinó que la potencia de este deberá de ser de 134.64 kJ/h para poder abastecer la operación. Para el condensador se estará utilizando agua de la propiedad que tiene una temperatura promedio de 20 °C, esta se llevará una temperatura de 30 °C. El flujo deberá de ser de 16.42 kg/h y se extraerán 686.97 kJ/h de energía del refrigerante. En la Figura 16 se muestra la ficha de especificación del tanque de almacenamiento con la mezcla de propilenglicol agua, para este se mantienen las dimensiones igual que para el tanque de producto terminado, se tendrá un volumen de trabajo de 1 m³. Finalmente, en la Figura 17 se tiene el tanque de almacenamiento de refrigerante. Este debe soportar la presión para que se encuentre en fase líquida (7000 kPa), a diferencia de los otros tanques este está elaborado de dos carcasas, la interior es de acero inoxidable y la segunda es de acero (carbon steel) esto con el principal objetivo de que la temperatura de ambiente no lo afecte y pueda hacer que el fluido cambie de fase.

Para el almacenamiento del vino en barricas se recomienda un espacio con una temperatura de 12-13°C ya que mayores temperaturas implica la oxidación del producto terminado.

Parte importante del proceso es la inocuidad y para esto se necesitan buscar soluciones que puedan mantener de esta manera el proceso. Para poder alcanzar esto comúnmente se utilizan soluciones alcalinas y ácidas para poder eliminar los residuos de los equipos, este proceso es conocido como CIP que se traduce como “limpieza en el lugar”. Los químicos más utilizados para esto son el ácido fosfórico e hidróxido de sodio, pero estos pueden causar contaminación al ser descartados y muchas empresas ofrecen detergentes orgánicos que pueden ser utilizados para la desinfección de equipos y disminuir la contaminación a la hora de su descarte. Esta será la opción que se toma en este trabajo.

En el Cuadro 8 muestra el costo total estimado para los equipos requerido para la planta en dólares estadounidenses y con un incoterm FOB (free on board). Para las bombas centrífugas se tiene un valor total de: \$35 094.56, para el reactor enchaquetado: \$228 885.84 (por unidad), para el tanque de producto terminado: \$12 606.08, para la centrífuga: \$165 300.00, para el equipo de refrigeración \$79 750.00, para el intercambiador de placas: \$1 670.00 y para el equipo de prensado: \$1 400.00 para un gran total de \$524 706.47. Se deben tomar en cuenta varios factores, el primero es el método de cálculo, para esto se hizo uso del CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) para enero del 2021, tomando que los datos que provee el Manual del Ingeniero Químico de Rober H. Perry, son para el año 1990. Adicional a esto, en el Cuadro 9, se puede observar los costos estimados de la instrumentación y los accesorios que serán utilizados en el proceso, esto implica un costo adicional de \$31 935.61, de igual manera se mantiene el incoterm. Este tipo de métodos para la estimación de costo de equipos puede tener una variación del 50 al 30% del costo real, la mejor manera para poder obtener el costo real de equipos es por medio de cotizaciones ya que tienen variaciones del 3 al 5% del costo real. Los valores mostrados en el cuadro solamente son una referencia para las primeras fases del proyecto, conforme avance se tendrán valores más precisos. En el Cuadro 10 se muestra la comparación del costo real de la bomba centrífuga, en este caso existe una variación del 267%. En este caso se recomienda conseguir cotizaciones de los otros equipos para determinar las variaciones entre la literatura y los precios reales.

En este caso se mantiene el intercom y no se decide presupuestar otro ya que debido a la situación mundial actual (pandemia COVID-19 y conflicto ruso-ucraniano) los precios de los contenedores fluctúan todos los días ya que la disponibilidad de estos es muy baja. Se recomienda cambiar el incoterm en una situación más estable. También se recomienda buscar más proveedores en el país para poder disminuir el costo de los equipos y buscar alternativas (como construcción) para algunos de los equipos como el reactor, tanques de almacenamiento, equipo de refrigeración y el equipo de prensado.

El tercer objetivo consistió en la distribución de la planta y la elaboración de los planos de vista de planta y elevación de la distribución de los equipos de la planta en un software tipo CAD.

En las figuras 21 a 22 se pueden observar los planos en el orden mencionado anteriormente, todos los planos se encuentran en la escala 1:75. En este caso se puede observar la distribución de cada uno de los equipos, esto basado en la bibliografía de Seán Morán, este autor nos menciona acerca del espacio que debe tener cada uno de los equipos, la mejor distribución (tomando en cuenta la seguridad) y la mejor manera de

colocar las tuberías ya que el costo de las tuberías puede ser hasta el 30% del costo total de la planta. De igual manera, al ser una planta piloto se busca la manera de minimizar el espacio que abarca la planta colocando los equipos justo con las distancias necesarias. Aunque sea una planta de alimentos y los líquidos no se encuentran en proporciones para ser inflamables, de igual manera se toman las medidas de seguridad necesaria para la operación correcta. Se posee un espacio de trabajo de 15 x 40 m, también se toma en cuenta el espacio en el exterior ya que también es necesario posicionar la unidad de condensación del equipo de refrigeración.

Finalmente, en la Figura 23 se puede observar la vista isométrica de la distribución de los equipos de la planta piloto, estos fueron tomados en un ángulo de 45° en una escala de 1:200. Esto para poder visualizar de una mejor manera como están organizados los equipos.

Vale la pena recalcar que la planta puede ser utilizada para la producción de otras bebidas alcohólicas cuando no se posea con uvas.

En este trabajo no se tomó en consideración un sistema de recuperación de CO₂, aunque su uso como refrigerante puede traer beneficios ya que estos gases son lavados y purificados para que estos puedan ser usados en diferentes industrias (ej. bebidas) o para la elaboración de hielo seco, lo cual implicaría un ingreso adicional.

IX. CONCLUSIONES

1. Se elaboró el diseño de una planta piloto de vino tinto y se determinó una base de cálculo de 900 L (o 972 kg/batch) sería la idea para poder elaborar todos los análisis necesarios.
2. Se realizó el balance de masa y energía del proceso, se determinó que la cantidad de materia prima para cumplir con la base de cálculo es de: 1 456. kg de uva. Los valores obtenidos en este objetivo se utilizaron para realizar los diagramas de flujo (figuras 9, 10 y 11 y cuadros 6 y 7) y el dimensionamiento de equipos.
3. Se elaboraron las fichas de especificaciones de los equipos a utilizar en la planta (figuras 12 a 20), de igual manera se determinó el costo de los equipos siendo el gran total de: \$524 706.47 en un intercom FOB con el índice de costo de plantas de ingeniería química (CEPCI). Se determinó una variación del 267% en la bomba centrífuga cotizada.
4. Se realizó la distribución de la planta a partir del dimensionamiento de equipos, literatura y antecedentes de otras plantas y se elaboraron los planos de la distribución de los equipos de la planta en las diferentes vistas: planta y elevación, estos se muestran de las figuras 21 y 22.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda cambiar el método para la determinación del costo de los equipos para la planta ya que el utilizado posee una alta variación (30-50%).

Se recomienda cambiar el incoterm cuando el panorama de contenedores se encuentre más estable ya que, al momento de la elaboración de este trabajo, los precios fluctúan todos los días y el valor de los contenedores se encuentra inflado debido a su baja disponibilidad.

Se recomienda obtener más cotizaciones y buscar más proveedores para poder obtener valores más reales para poder determinar el costo de los equipos.

Se recomienda investigar más materiales de construcción para los equipos ya que el acero inoxidable no es el único aprobado por entidades internacionales para mantener la inocuidad del proceso. Esto podría disminuir el costo de los equipos a utilizar.

Elaborar y evaluar el diseño de recuperación de dióxido de carbono liberado durante el proceso de fermentación ya que este puede ser utilizado nuevamente en el proceso como refrigerante, aditivo para vinos espumosos, aditivo en bebidas o en la elaboración de hielo seco.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, K. (2004) *The World's Wine Markets. Globalization at Work*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Arapitsas, P., Antonopoulos, A., Stefanou, E., y Dourtoglou, V. G. (2004). *Artificial aging of wines using oak chips*. Food Chemistry, 86(4), 563–570. doi:10.1016/j.foodchem.2003.10.003
- Baker, H. G. (1972) *Human influences on plant evolution*. Econ. Bot. 26, 32–43.
- Bennett, J., Jarvis, P., Creasy, G. L., y Trough, M. C. (2005) *Influence of defoliation on overwintering carbohydrate reserves, return bloom, and yield of mature Chardonnay grapevines*. Am. J. Enol. Vitic. 56, 386–393.
- Betancourt, R. (2003). *Transferencia molecular de calor, masa y/o cantidad de movimiento*. 1era edición. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Bowers, J. E., y Meredith, C. P. (1997) *The parentage of a classic wine grape, Cabernet Sauvignon*. Nature Genetics 16, 84–87.
- Bowers, J. E., Bandman, E. B., y Meredith, C. P. (1993) *DNA fingerprint characterization of some wine grape cultivars*. Am. J. Enol. Vitic. 44, 266–274.
- Carbonneau, A. (1983) *Stérilités mâle et femelle dans le genre Vitis. II. Conséquences en génétique et sélection*. Agronomie 3, 645–649
- Cavaliere, D., McGovern, P. E., Hartl, D. L., Mortimer, R., y Polsinelli, M. (2003) *Evidence for S. cerevisiae fermentation in ancient wine*. J. Mol. Evol. 57, S226–S232.
- Cengel, Y; Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. 4ta edición. Editorial Mc Graw-Hill.
- Cerpa-Calderón, F. K., y Kennedy, J. A. (2008). *Berry Integrity and Extraction of Skin and Seed Proanthocyanidins during Red Wine Fermentation*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(19), 9006–9014. doi:10.1021/jf801384v
- Du Plessis, H., du Toit, M., Nieuwoudt, H., van der Rijst, M., Kidd, M., y Jolly, N. (2017). *Effect of Saccharomyces, Non-Saccharomyces Yeasts and Malolactic Fermentation Strategies on Fermentation Kinetics and Flavor of Shiraz Wines*. Fermentation, 3(4), 64. doi:10.3390/fermentation3040064
- Forbes, R. J. (1965) *Studies in Ancient Technology*, Vol. III, 2nd ed. E. J. Brill, Leiden, p. 83, n. 17.
- Galet, P. (1988) *Cépages et Vignobles de France*, Vol. 1 (Les Vignes Américaines) 2nd ed. Dehan, Montpellier, France.
- Garnier, N., Richardin, P., Cheynier, V., y Regert, M. (2003) *Characterization of thermally assisted hydrolysis and methylation products of polyphenols from modern and archaeological vine derivatives using gas chromatography-mass spectrometry*. Anal. Chim. Acta 493, 137–157.

- Gavhane, K. (2015). *Unit Operations-I*. Nirali Prakashan.
- Gavhane, K. (2015). *Unit Operations-II*. Nirali Prakashan.
- Glänzel, W., y Veugelers, R. (2006) *Science for wine: A bibliometric assessment of wine and grape research for wine-producing and consuming countries*. *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 23–32.
- Godden, P., Francis, L., Field, J., Gishen, M., Coulter, A., Valente, P., Robinson, E. (2001). *Wine bottle closures: physical characteristics and effect on composition and sensory properties of a Semillon wine 1. Performance up to 20 months post-bottling*. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 7(2), 64–105. doi:10.1111/j.1755-0238.2001.tb00196.x
- Guasch-Jané, M. R., Ibern-Gómez, M., Andrés-Lacueva, C., Jáuregui, O., y Lamuela-Raventós, R. M. (2004) *Liquid chromatography with mass spectrometry in tandem mode applied for the identification of wine markers in residues from Ancient Egyptian vessels*. *Anal. Chem.* 76, 1672–1677.
- Guasch-Jané, M. R., Andrés-Lacueva, C., Jáuregui, O., y Lamuela Raventós, R. M. (2006) *The origin of the ancient Egyptian drink Shedeḥ revealed using LC/MS/MS*. *J. Archaeol. Sci.* 33, 98–101.
- Guisard, Y., Blackman, John., Clark, A., Holzapfel, B., Rawson, A., Rogiers, S., Schmidtke, L., Smith, J., y Steel, C. (2014). *Viticulture and Wine Science*. 10.1007/978-94-017-8578-5_7.
- ICEX. (2019). *El mercado de vino en Guatemala*. ICEX. Embajada de España en Guatemala.
- Jackson, R. S. (2008). *Wine science: Principles and applications* (3ra ed.). Elsevier Inc.
- Prescott, S. C., y Dunn, C. G. (1949). *Microbiología industrial* (2da ed.). MacGraw Hill Book Company, Inc.
- Krishnan, M. S., Ho, N. W. Y., y Tsao, G. T. (1999). *Fermentation Kinetics of Ethanol Production from Glucose and Xylose by Recombinant Saccharomyces 1400(pLNH33)*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 78(1-3), 373–388. doi:10.1385/abab:78:1-3:373
- Leung, W., y Leung, W. W.-F. (2014). *Centrifugal separations in biotechnology*. Academic Press.
- Levenspiel, O. (1998). *Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Longbottom, M. L., Dry, P. R., y Sedgley, M. (2004) *A research note on the occurrence of 'star' flowers in grapevines: observations during the 2003–2004 growing season*. *Aust J. Grape Wine Res.* 10, 199–202.
- McCabe, W.; Smith, J. y P. Harriot. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. México D.F., México. Pp. 1112.
- McCabe, W.; Smith, J. y P. Harriot. (2005). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. México D.F., México. Pp. 1211.
- McGovern, P. E., Zhang, J., Tang, J., Zhang, Z., Hall, G. R., Moreau, R. A., Nuñez, A., Butrym, E. D., Richards, M. P., Wang, C-S., Cheng, G., Zhao, Z., y Wang, C. (2004) *Fermented beverages of pre- and proto-historic China*. *Proc. Natl Acad. Sci.* 101, 17593–17598.

- Moenne, M. (2008). *Balances de masa durante la vinificación de sauvignon blanc* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/1460/515523.pdf>
- Moncur, M. W., Rattigan, K., Mackenzie, D. H., y McIntyre, G. N. (1989) *Base temperatures for budbreak and leaf appearance of grapevines*. *Am. J. Enol. Vitic.* 40, 21–26.
- Morlat, R., Asselin, C., Pages, P., Leon, H., Robichet, J., Remoue, M., Salette, J., y Caille, M. (1983) *Caractérisation intégrée de quelques terroirs du val de Loire influence sur les qualité des vins*. *Connaiss. Vigne Vin* 17, 219–246.
- OIV. (2021). *State of the World Viticultural Sector in 2020*. OIV.
- Olmo, H. P. (1976) *Grapes*. In: *Evolution of Crop Plants* (N. W. Simmonds, ed.), pp. 294–298. Longman, London.
- Petrie, W. M. F. (1923) *Social Life in Ancient Egypt*. Methuen, London.
- Phaff, H. J. (1986) *Ecology of yeasts with actual and potential value in biotechnology*. *Microb. Ecol.* 12, 31–42.
- Perry, R. H., y Green, D. W. (2008). *Perry's chemical engineers' handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Rankine, B. C., Fornachon, J. C. M., Boehm, E. W., y Cellier, K. M. (1971) *Influence of grape variety, climate and soil on grape com position and on the composition and quality of table wines*. *Vitis* 10, 33–50.
- Renfrew, C. (1989) *The origins of Indo-European languages*. *Sci. Am.* 261 (4), 106–116.
- Ruiz, B. (2019). *El mercado del vino en Guatemala*. ICEX España.
- Shulman, Y., Nir, G., Fanberstein, L., y Lavee, S. (1983) *The effect of cyanamide on the release from dormancy of grapevine buds*. *Sci. Hortic.* 19, 97–104.
- Smith, J., Van Ness, H. C., y Abbott, M. M. (1997). *Introducción a la termodinámica en ingeniería química* (5a. ed.). México: Mcgraw-Hill.
- Sinnott R. K. Coulson J. M. y Richardson J. F. (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design* (4th ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Srinivasan, C., y Mullins, M. G. (1981) *Physiology of flowering in the grapevine – a review*. *Am. J. Enol. Vitic.* 32, 47–59.
- Stanislawski, D. (1975) *Dionysus westward: Early religion and the economic geography of wine*. *Geogr. Rev.* 65, 427–444.
- Toghraei, M. (2019). *Piping and Instrumentation Diagram Development*. doi:10.1002/9781119329503
- Treybal, R. (1997) *Operaciones de Transferencia de Masa*, 2da Edición, Editorial McGraw-Hill, Mexico, p.p. 858.
- Walas, S. M. (1988). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Butterworths.

Waterhouse, A., Sacks, G., y Jeffery, D. (2016). *Understanding Wine Chemistry*. Wiley.

Wittwer, G., Berger, N. y Anderson, K. (2019). A Model of the World's Wine Markets.
10.1142/9789811202094_0001.

XII. ANEXOS

A. DATOS ORIGINALES

Cuadro 11. Composición del producto terminado (vino maduro).

Compuesto	Concentración (%m/m)
Agua	86.54%
Etanol	11.00%
Glicerol	0.81%
Ácidos orgánicos	0.71%
Aminoácidos	0.20%
Azúcares	0.20%
Sorbitol	0.15%
Fenoles	0.15%
Minerales	0.10%
Alcoholes altos	0.05%
Ácido acético	0.04%
Metanol	0.01%
Sulfitos	0.01%
Ésteres volátiles	0.01%
Acetaldehído	0.01%
Total	100.00%

Elaboración propia, basado en: (Waterhouse *et al.*, 2016).

Cuadro 12. Composición de materia prima.

Compuesto	Concentración (%m/m)
Líquido	80.00%
Semillas	10.00%
Piel	10.00%
Total	100.00%

Elaboración propia, basado en: (Waterhouse *et al.*, 2016).

Cuadro 13. Rendimientos de la fermentación alcohólica de *Saccharomyces cerevisiae* y sacáridos.

Compuesto	Rendimiento (kg compuesto/kg sustrato)
Etanol	48.40%
CO ₂	46.50%
Glicerol	3.60%
Ácido acético	0.25%
Biomasa	1.20%
Otros	0.05%
Total	100.00%

Elaboración propia, basado en: (Jackson, 2008).

Cuadro 14. Parámetros cinéticos de la fermentación alcohólica de *Saccharomyces cerevisiae* y sacáridos.

Parámetro	Valor	Unidad de medida
ΔH	-371.9	kJ/kg hexosa
CC0	0.84	g/L
CR*	105	g/L
R/C	40.33	
k	26.7	h ⁻¹

Elaboración propia, basado en: (Waterhouse *et al.*, 2016) y (Guisard *et al.*, 2014).

Cuadro 15. Parámetros para determinar el valor de equipos.

Equipo	Tamaño	Unidad	Costo aproximado (\$)	Rango de tamaño	Exponente
Bomba centrífuga	7.5	kW	1600	0.37-30	0.3
Centrífuga	1.86	m2	100000	0.65-7.43	0.65
Reactor enchaquetado	0.38	m3	9300	0.04-15.1	0.53
Tanque PT	3.8	m3	3300	0.4-76	0.3

Elaboración propia, basado en: (Perry & Green, 2008).

Cuadro 16. Propiedades de saturación de dióxido de carbono a 0.85 bar.

Presión	Temperatura	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía (kJ/kg)			Entropía (kJ/kg K)		
		vf	vg	hf	hfg	hg	sf	sfg	sg
2	-19.503	0.0009715	0.019033	155.52	281.33	436.85	0.83694	1.10916	1.9461
2.1	-17.903	0.0009786	0.018074	158.99	277.7	436.69	0.85018	1.08802	1.9382
2.2	-16.359	0.0009857	0.017199	162.36	274.13	436.49	0.86296	1.06754	1.9305
2.3	-14.864	0.0009927	0.016396	165.64	270.61	436.25	0.87533	1.04767	1.923
2.4	-13.417	0.0009998	0.015656	168.85	267.12	435.97	0.88732	1.02848	1.9158
2.5	-12.013	0.0010068	0.014973	171.98	263.68	435.66	0.89897	1.00973	1.9087
2.6	-10.65	0.0010139	0.01434	175.05	260.27	435.32	0.91031	0.99149	1.9018
2.7	-9.3243	0.001021	0.013751	178.06	256.88	434.94	0.92134	0.97366	1.895
2.8	-8.0342	0.0010281	0.013202	181.01	253.52	434.53	0.93211	0.95629	1.8884
2.9	-6.7775	0.0010353	0.012688	183.9	250.18	434.08	0.94263	0.93917	1.8818
3	-5.5521	0.0010425	0.012207	186.75	246.86	433.61	0.95291	0.92249	1.8754
3.1	-4.3564	0.0010497	0.011755	189.56	243.55	433.11	0.96298	0.90612	1.8691
3.2	-3.1886	0.001057	0.011329	192.32	240.25	432.57	0.97285	0.88995	1.8628
3.3	-2.0474	0.0010644	0.010928	195.05	236.96	432.01	0.98253	0.87407	1.8566
3.4	-0.93132	0.0010718	0.010548	197.74	233.68	431.42	0.99203	0.85847	1.8505
3.5	0.16082	0.0010794	0.010189	200.39	230.41	430.8	1.0014	0.843	1.8444
3.6	1.2302	0.001087	0.0098476	203.02	227.13	430.15	1.0106	0.8278	1.8384
3.7	2.2778	0.0010947	0.0095235	205.62	223.85	429.47	1.0196	0.8128	1.8324
3.8	3.3047	0.0011025	0.009215	208.19	220.57	428.76	1.0286	0.7978	1.8264
3.9	4.3117	0.0011105	0.0089208	210.74	217.28	428.02	1.0374	0.783	1.8204
4	5.2997	0.0011185	0.00864	213.27	213.98	427.25	1.0461	0.7684	1.8145

Nota: La tabla se muestra reducida. Presión máxima 7.377 MPa.

Elaboración propia, basado en (NIST, 2022).

Cuadro 17. Propiedades de vapor sobrecalentado de dióxido de carbono a 7 MPa.

Temperatura	Volumen específico	Entalpía	Entropía
°C	(m ³ /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)
Sat.	0.0032891	376.91	1.5844
20			
30	0.0037515	392.71	1.6367
40	0.0050499	432.12	1.7649
50	0.0058135	453.99	1.8337
60	0.0064295	471.53	1.8872
70	0.0069687	486.98	1.9329
80	0.0074593	501.18	1.9737
90	0.0079159	514.57	2.0111
100	0.0083472	527.38	2.0459
110	0.0087587	539.77	2.0787
120	0.0091545	551.85	2.1098
130	0.0095373	563.7	2.1396
140	0.0099094	575.36	2.1681
150	0.010272	586.88	2.1957
160	0.010627	598.3	2.2223
170	0.010976	609.63	2.2482

Elaboración propia, basado en (NIST, 2022).

Cuadro 18. Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías estándar de acero.

Tamaño nominal de tubería, in.	Diámetro exterior, in.	Número de cédula	Espesor de pared, in.	Diámetro interior, in.	Área de la sección transversal del metal, in. ²	Área de la sección interior, ft ²	Circunferencia, ft, o superficie, ft ² /ft de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 ft/s		Peso de la tubería, lb/ft
							Exterior	Interior	U.S. gal/min	Agua, lb/h	
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705	0.179	89.5	0.24
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563	0.113	56.5	0.31
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.095	0.323	161.5	0.42
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.079	0.224	112.0	0.54
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.129	0.596	298.0	0.57
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.111	0.440	220.0	0.74
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.163	0.945	472.0	0.85
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.143	0.730	365.0	1.09
3/4	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.216	1.665	832.5	1.13
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.194	1.345	672.5	1.47
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.275	2.690	1345	1.68
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.250	2.240	1120	2.17
1 1/4	1.660	40	0.140	1.380	0.668	0.01040	0.435	0.361	4.57	2285	2.27
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335	3.99	1995	3.00
1 1/2	1.900	40	0.145	1.610	0.800	0.01414	0.497	0.421	6.34	3170	2.72
		80	0.200	1.500	1.069	0.01225	0.497	0.393	5.49	2745	3.63
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.541	10.45	5225	3.65
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508	9.20	4600	5.02
2 1/2	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647	14.92	7460	5.79
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.608	13.20	6600	7.66
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.916	0.803	23.00	11500	7.58
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.916	0.759	20.55	10275	10.25
3 1/2	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.929	30.80	15400	9.11
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.881	27.70	13850	12.51
4	4.500	40	0.237	4.026	3.17	0.08840	1.178	1.054	39.6	19800	10.79
		80	0.337	3.826	4.41	0.07986	1.178	1.002	35.8	17900	14.98
5	5.563	40	0.258	5.047	4.30	0.1390	1.456	1.321	62.3	31150	14.62
		80	0.375	4.813	6.11	0.1263	1.456	1.260	57.7	28850	20.78
6	6.625	40	0.280	6.065	5.58	0.2006	1.734	1.588	90.0	45000	18.97
		80	0.432	5.761	8.40	0.1810	1.734	1.508	81.1	40550	28.57
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.089	155.7	77850	28.55
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	1.996	142.3	71150	43.39
10	10.75	40	0.365	10.020	11.91	0.5475	2.814	2.620	246.0	123000	40.48
		80	0.594	9.562	18.95	0.4987	2.814	2.503	223.4	111700	64.40
12	12.75	40	0.406	11.938	15.74	0.7773	3.338	3.13	349.0	174500	53.56
		80	0.688	11.374	26.07	0.7056	3.338	2.98	316.7	158350	88.57

[†]Basados en ANSI B36. 10-1959, con autorización de ASME.

(McCabe *et al.*, 2005).

Cuadro 19. Coeficientes de pérdida de fricción en accesorios y válvulas.

Accesorio o válvula	Factor de pérdida K	Número de diámetros equivalentes
Codo estándar 45°	0.35	15
Codo de radio largo 45°	0.2	10
Codo de radio estándar 90°	0.6-0.8	30-40
Codo estándar largo 90°	0.45	23
Codo cuadrado 90°	1.5	75
Válvula de compuerta		
Totalmente abierta	0.15	7.5
Abierta 1/4	16	800
Abierta 1/2	4	200
Abierta 3/4	1	40
Válvula de globo		
Totalmente abierta	6	300
Abierta 1/2	8.5	450

Elaboración propia basado en: (Sinnott *et al.*, 2005).

Cuadro 20. Rugosidad de tipos de tuberías.

Material	Rugosidad absoluta (mm)
Tubos estirados	0.0015
Tubería de acero comercial	0.046
Tubería de hierro fundido	0.26
Tubería de concreto	0.3 a 3.0

Elaboración propia basado en: (Sinnott *et al.*, 2005).

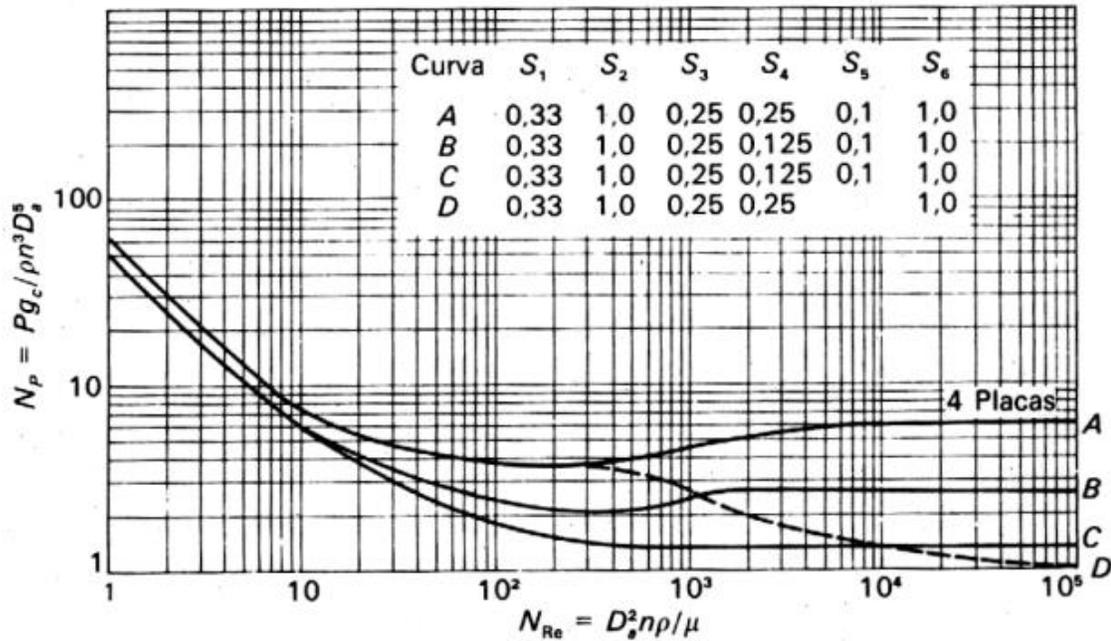
Cuadro 21. Valores de los coeficientes de transferencia de calor.

Tipo de procesos	Rango de valores de h	
	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	$Btu/ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F$
Vapor de agua (condensación en gotas)	30 000-100 000	5 000-20 000
Vapor de agua (condensación en película)	6 000-20 000	1 000-3 000
Ebullición de agua	1 700-50 000	300-9 000
Vapores orgánicos condensables	1 000-2 000	200-400
Agua (calentamiento o enfriamiento)	300-20 000	50-3 000
Aceites (calentamiento o enfriamiento)	50-1 500	10-300
Vapor de agua (sobrecalentamiento)	30-100	5-20
Aire (calentamiento o enfriamiento)	1-50	0.2-10

Para convertir de $Btu/ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F$ a $W/m^2 \cdot ^\circ C$, multiplicar por 5.6783.

(McCabe *et al.*, 2005).

Figura 24. Número de potencia N_P frente a N_{Re} para turbina de seis palas.



(McCabe *et al.*, 1991).

B. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1. Balance de materia del proceso de estabilización.

$$E + G = S + A$$

$$E = S$$

$$E_1 + E_2 = S$$

$$E_1 = S - E_2$$

$$972.01 \text{ kg producto terminado} - 0.01 \text{ kg sulfitos} = 972.01 \text{ kg producto filtrado}$$

Este cálculo se realizó en todas las etapas del proceso de elaboración de vino con la finalidad de poder determinar todos los flujos de materia, elaborar el diagrama de flujos, realizar el diseño de equipos para finalmente realizar la distribución de la planta y determinación de costos de equipos.

Cálculo 2. Balance de energía del intercambiador de calor

$$Q_{entrada} = Q_{salida}$$

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

$$Q = \left(6.47 \frac{\text{kg mezcla}}{\text{h}}\right) * \left(4.02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) * (5 - 27)^\circ\text{C}$$

$$Q = -572.33 \text{ kJ/h}$$

Este cálculo se realizó en todas las etapas del proceso de elaboración de vino con la finalidad de poder determinar todos los flujos de energía, elaborar el diagrama de flujos, realizar el diseño de equipos para finalmente realizar la distribución de la planta y determinación de costos de equipos.

Cálculo 3. Determinación de compuestos generados en la fermentación.

$$G = E * Y_{P/S}$$

$$G = 208.16 \text{ kg hexosa} * 0.4840 \frac{\text{kg etanol}}{\text{kg hexosa}}$$

$$G = 100.75 \text{ kg etanol}$$

Este cálculo se realizó para determinar la cantidad, en masa, de los compuestos que se generan durante la fermentación alcohólica, esto se realizó con los otros metabolitos que se presentan en la literatura.

Cálculo 4. Diseño de reactor para la fermentación alcohólica de *Saccharomyces cerevisiae* y sacáridos.

$$\text{Temperatura de ambiente (máx.)} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Presión atmosférica} = 0.82 \text{ bar}$$

$$\tau = \int_{C_{R0}}^{C_R} \frac{dC_R}{r_R}$$

$$\tau = \int_{C_{R0}}^{C_R} \frac{dC_R}{k \left(1 - \frac{C_R}{C_{R*}}\right) \left(C_R + Y_{P/X} * C_{C0}\right)}$$

$$\tau = 114.52 \text{ h}$$

$$\tau_{tot} = 114.52 + 120 \text{ h}$$

$$\tau_{tot} = 234.52 \text{ h}$$

$$V = v\tau$$

$$V = 4.46 \frac{\text{L}}{\text{h}} * 234.52 \text{ h}$$

$$V = 1046.82 \text{ L} \approx 1.05 \text{ m}^3$$

$$H = 2D$$

$$V = \pi * \frac{D^3}{2}$$

$$D = 0.87 \text{ m}$$

$$H = 1.75 \text{ m}$$

$$H_{tot} = H + H_{extra}$$

$$H_{extra} = H * \frac{1}{5}$$

$$H_{extra} = 0.35 \text{ m}$$

$$H_{tot} = 2.10 \text{ m}$$

Este cálculo solamente se realizó una vez para poder determinar las dimensiones para el reactor de fermentación alcohólica, de esta manera se realizó la ficha de especificación y la distribución de la planta. A partir del volumen, se realizó el mismo cálculo para determinar las dimensiones del tanque de producto terminado.

Cálculo 5. Cálculo de agitador para tanque fermentador (reactor).

En este caso se estará usando una turbina de seis palas planas con un diámetro de 0.44 m y un ancho de 0.11 m. La velocidad seleccionada es de 300 RPM.

$$D_a = 0.44 \text{ m}$$

$$W = 0.11 \text{ m}$$

$$S_4 = \frac{W}{D_a} = \frac{0.11 \text{ m}}{0.44 \text{ m}} = 0.25$$

$$n = 300 \frac{1}{\text{min}} * \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 5 \text{ s}^{-1}$$

$$N_{RE} = \frac{D_a^2 n \rho}{\mu} = \frac{(0.44 \text{ m})^2 (5 \text{ s}^{-1}) \left(1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{0.0014 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 742,521.65$$

Leyendo en la Figura 24 sobre la curva A se obtiene el valor:

$$N_p = 6.0$$

$$P = \frac{N_p n^3 D_a^5 \rho}{g_c} = \frac{(6.0)(5 \text{ s}^{-1})^3 (0.44 \text{ m})^5 \left(1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{1} = 12,989.41 \text{ W} = 12.99 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia real} = \frac{12.99 \text{ kW}}{0.7} = 18.56 \text{ kW}$$

Se determina que para poder realizar la operación es necesario un motor de 18.56 kW.

Este cálculo solamente se realizó una vez para poder las características de la turbina utilizada para el proceso de fermentación.

Cálculo 6. Determinación de flujo máximo en una centrífuga de discos.

$$Q = \left(\frac{2a^2(\rho - \rho_0)g}{9\mu} \right) \left(\frac{2n\pi\omega(R_0^3 - R_1^3) \cot \theta}{3g} \right)$$

$$Q = \{v_g\} \left[\sum \right]$$

$$\{v_g\} = \left(\frac{2(0.5 * 10^{-6}m)(1.11 - 1)g/cm^3(9.8 m/s^2)}{9(0.01 g/cm - s)} \right)$$

$$\{v_g\} = 6 * 10^{-6} cm/s$$

$$\sum = \left(\frac{2 * 82 * \pi(8.45^3 - 3.6^3)cm^3 \cot 40^\circ}{3 * 9.8 m/s^2} \right)$$

$$Q = 0.28 L/s = 17.05 L/min$$

Este cálculo se realizó para determinar si las especificaciones de la centrífuga seleccionada se acoplaban a las necesidades de la planta.

Cálculo 7. Diseño de intercambiador de calor de placas.

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

$$LMTD = \frac{(5 - 0.16)^\circ C - (27 - 0.16)^\circ C}{\ln \left(\frac{(5 - 0.16)^\circ C}{(27 - 0.16)^\circ C} \right)}$$

$$LMTD = 12.84^\circ C$$

$$NTU = \frac{(27 - 5)^\circ C}{12.84^\circ C}$$

$$NTU = 1.71$$

$$FT = 0.97$$

$$U = 2000 W/m^2 - ^\circ C$$

$$A = \frac{572.33 * 1000 W}{0.97 * 12.84^\circ C * 2000 W/m^2 - ^\circ C}$$

$$A = 22.97 m^2$$

$$A_{placa} = 0.080 m^2$$

$$n_{placas} = 32$$

$$n_{pasos} = \frac{32 - 1}{2} = 15$$

$$A_{canal} = 0.00048 m^2$$

$$D_h = 0.006 m$$

Para el mosto:

$$v_{canal} = \frac{6.47 kg/h}{1017 kg/m^3} * \frac{1}{0.00048 m^2} * \frac{1}{15} \approx 0.87 m/s$$

$$Re = \frac{1017 \text{ kg/m}^3 * 0.006 \text{ m} * 0.87 \text{ m/s}}{0.43 * 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 12\,284$$

$$Nu = 0.26 * 12\,284^{0.65} * 6^{0.4} = 242.28 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

$$hp = 242.28 \text{ W/m} \cdot \text{°C} \left(\frac{0.147}{0.006 \text{ m}} \right) = 5935.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Para agua:

$$hp = 2807.3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{17622.4} + \frac{1}{30000} + \frac{0.5 * 10^{-3}}{16.3} + \frac{1}{19285.7} + \frac{1}{8000} = 0.00085536 \dots$$

$$U = 1169.10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Este cálculo se realizó para determinar si las especificaciones del intercambiador de placas seleccionado se acoplaban a las necesidades de la planta, esto por medio del coeficiente total de transferencia de masa.

Cálculo 8. Diseño de bomba centrífuga.

Se toma como principales datos que se utilizará una tubería de tamaño nominal de 1.25 in y cédula 40, esto debido a que la velocidad lineal del fluido se encuentra dentro del rango ideal. Las medidas se tomaron del Cuadro 18.

Con la velocidad lineal del fluido, diámetro interno, densidad y viscosidad se puede obtener el número de Reynolds.

$$N_{Re} = \left(\frac{1090 \frac{kg}{m^3} * 1.030 \frac{m}{s} * 0.035m}{1.4 * 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} \right) = 28,117.16$$

Del Cuadro 20 se puede obtener la rugosidad absoluta de la tubería, en este caso tomamos la tubería comercial de acero:

$$k = 0.046 \text{ mm}$$

Con este dato se puede calcular la rugosidad relativa:

$$\frac{k}{D} = \frac{0.046 \text{ mm}}{35.052 \text{ mm}} = 0.001312 \dots$$

Con estos dos datos se puede calcular el factor de fricción con la siguiente ecuación:

$$f = 0.0055 \left(1 + \left(2 * 10^4 \frac{k}{D} + \frac{10^6}{N_{RE}} \right)^{1/3} \right)$$
$$f = 0.0055 \left(1 + \left(2 * 10^4 * 0.001312 + \frac{10^6}{28,117.16} \right)^{1/3} \right) = 0.027246$$

Para determinar las pérdidas de presión por fricción en la tubería se debe calcular el largo total de la tubería con sus accesorios y válvulas, en este caso se tienen 6 codos a 90° y una válvula de globo totalmente abierta, estos datos se pueden obtener del Cuadro 19:

$$Largo \text{ total} = 3.93 \text{ m} + (6 * 30 + 300) * 0.035 \dots \text{ m} = 20.75 \dots \text{ m}$$

Con esto ya se pueden calcular las pérdidas de presión por fricción:

$$\Delta P_f = 8 * 0.027246 * \left(\frac{20.75 \dots \text{ m}}{0.035 \dots \text{ m}} \right) * 1090 \frac{kg}{m^3} * \frac{1.030 \frac{m^2}{s}}{2} = 74,665.29 \frac{N}{m^2}$$

Luego se procede a calcular el balance de energía de la bomba:

$$g\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho} - \frac{\Delta P_f}{\rho} - W = 0$$

Donde:

$$\Delta z = 0 - 0.03 \text{ m} = -0.03 \text{ m}$$

En este caso no tenemos cambios de presión, entonces:

$$\Delta P = 0$$

Y la potencia se calcularía de la siguiente manera:

$$W = 9.8 \frac{m}{s^2} * (-0.03 m) - \frac{74,665 \frac{N}{m^2}}{1090 \frac{kg}{m^3}} = -68.79 \frac{J}{kg}$$

Como el resultado es un número negativo sabemos que se debe utilizar una bomba para el sistema.

Finalmente, la potencia ideal y total se calculan de la siguiente manera:

$$Potencia\ ideal = 68.79 \frac{J}{kg} * \frac{975.31 kg}{900 s} = 74.55 W$$

$$Potencia\ real = \frac{74.55 W}{0.70} = 106.50 W = 0.107 W$$

Con esto podemos seleccionar la bomba para poder realizar la operación.

Este cálculo se realizó para determinar la potencia necesaria de la bomba centrífuga para un tramo específico del proceso. Este cálculo se utilizó para todas las bombas necesarias en la planta.

Cálculo 9. Diseño de ciclo de refrigeración.

Punto no. 1:

$$P = 3500 \text{ kPa}$$

Del Cuadro 16:

$$T = 0.16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H = 430.8 \text{ kJ/kg}$$

$$S = 1.8444 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} - \text{K}}$$

$$X = 1$$

Punto no. 2:

$$P = 7000 \text{ kPa}$$

$$S = 1.8444 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} - \text{K}}$$

Del Cuadro 17:

Temperatura	Volumen específico	Entalpía	Entropía
50	0.0058135	453.99	1.8337
60	0.0064295	471.53	1.8872

Para determinar la temperatura a entropía constante:

$$T = \frac{((1.844 - 1.8337) * (60 - 50))}{1.8872 - 1.8337} + 50 = 52 \text{ }^\circ\text{C}$$

De igual manera para determinar la entalpía:

$$H = 458.23 \text{ kJ/kg}$$

Punto 3: Se asume que la pérdida de presión es nula

$$P = 7000 \text{ kPa}$$

Del Cuadro 16:

Se condensa el líquido, entonces:

$$T = 28.683 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H = 293.88 \text{ kJ/kg}$$

$$S = 1.3093 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} - \text{K}}$$

Punto 4: Expansión

$$T = 0.16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 3500 \text{ kPa}$$

$$H = 293.88 \text{ kJ/kg}$$

Para determinar la calidad:

$$X = \frac{293.88 - 200.39}{430.8 - 200.39} = 0.41$$

Para determinar la entropía:

$$S = 1.0014 + 0.41 * (1.8444 - 1.0014) = 1.3434 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} - \text{K}}$$

Para determinar el calor extraer en el condensador:

Calor a extraer del fluido caliente

$$Q = 572.33 \text{ kJ/h}$$

Masa del refrigerante:

$$m = \frac{572.33 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{430.8 - 293.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 4.18 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de refrigerante}$$

Calor a extraer del refrigerante en la condensación

$$Q = -4.18 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (293.88 - 458.23) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -686.97 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Masa de agua para condensar el refrigerante:

$$m = \frac{-686.97 \text{ kJ/h}}{4.183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} - ^\circ\text{C}} * (20 - 30)^\circ\text{C}} = 16.42 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de agua a } 20^\circ\text{C}$$

Este cálculo se realizó para determinar las especificaciones del equipo requerido para el ciclo de refrigeración y el enfriamiento de la mezcla propilenglicol-agua que se usará para el enfriamiento del reactor.

Cálculo 10. Determinación de dimensionamiento del tanque de producto terminado.

$$V = 900 L = 0.9 m^3$$

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

$$H = 2D$$

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 2D$$

$$V = \frac{\pi D^3}{2}$$

$$D^3 = \frac{2V}{\pi}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 * 0.9 m^3}{\pi}} = 0.83 m$$

$$H = 2 * 0.83 = 1.66 m$$

$$H_2 = 0.83 * 20\% = 0.33 m$$

$$H_{tot} = 1.99 m$$

Este cálculo se utilizó para poder determinar las dimensiones del tanque de producto terminado así como el tanque de almacenamiento para la mezcla de propilenglicol-agua.

Cálculo 11. Diseño de dimensiones de tuberías.

$$Q = 0.0006123 m^3/s$$

$$v < 1.5 m/s$$

$$v = 1 m/s$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.0006123}{1} = 0.0006123 m^2$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$D \approx 27.92 mm$$

Se determina una tubería de 1'' de diámetro, catálogo 40.

Este cálculo se realizó para escoger la tubería necesaria para trasladar el flujo a la velocidad recomendada por la literatura. Se repitió con todas las tuberías que se encuentran en la planta.

Cálculo 12. Cálculo de costo de bomba centrífuga

$$C_2 = C_1 * \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^n * \left(\frac{I_{2021}}{I_{1990}}\right) * M$$

$$C_2 = \$1600 * \left(\frac{0.45 \text{ kW}}{7.5 \text{ kW}}\right)^{0.3} * \left(\frac{1111.5}{392.2}\right) * 1.8 = \$3\,509.46$$

Este cálculo se realizó para estimar el costo de una bomba centrífuga con el índice de costo a enero del año 2021. Este mismo cálculo se realizó para todos los equipos necesarios en la planta.

C. DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN

Figura 25. Diagrama de tubería e instrumentación: Equipo de prensado.

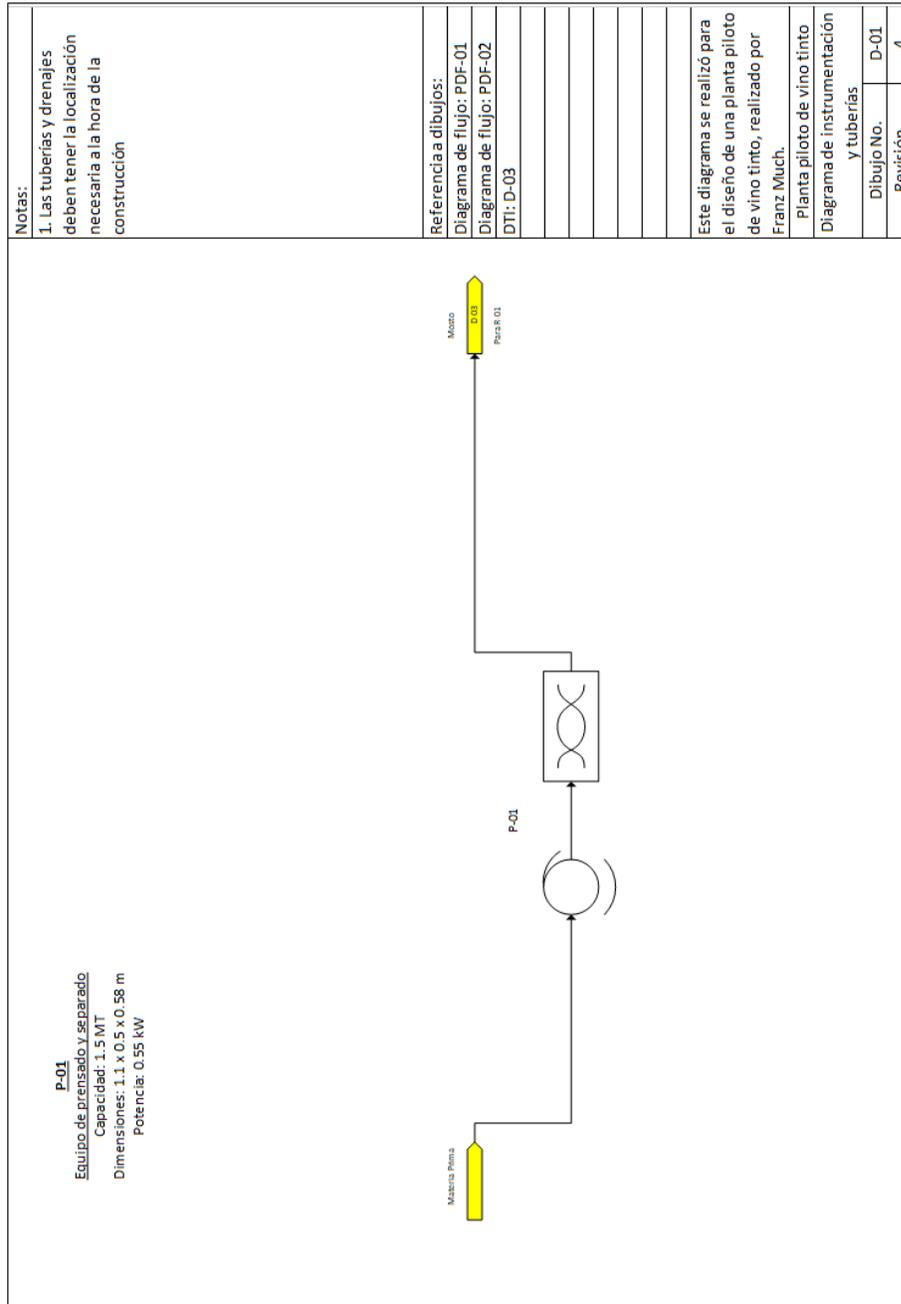
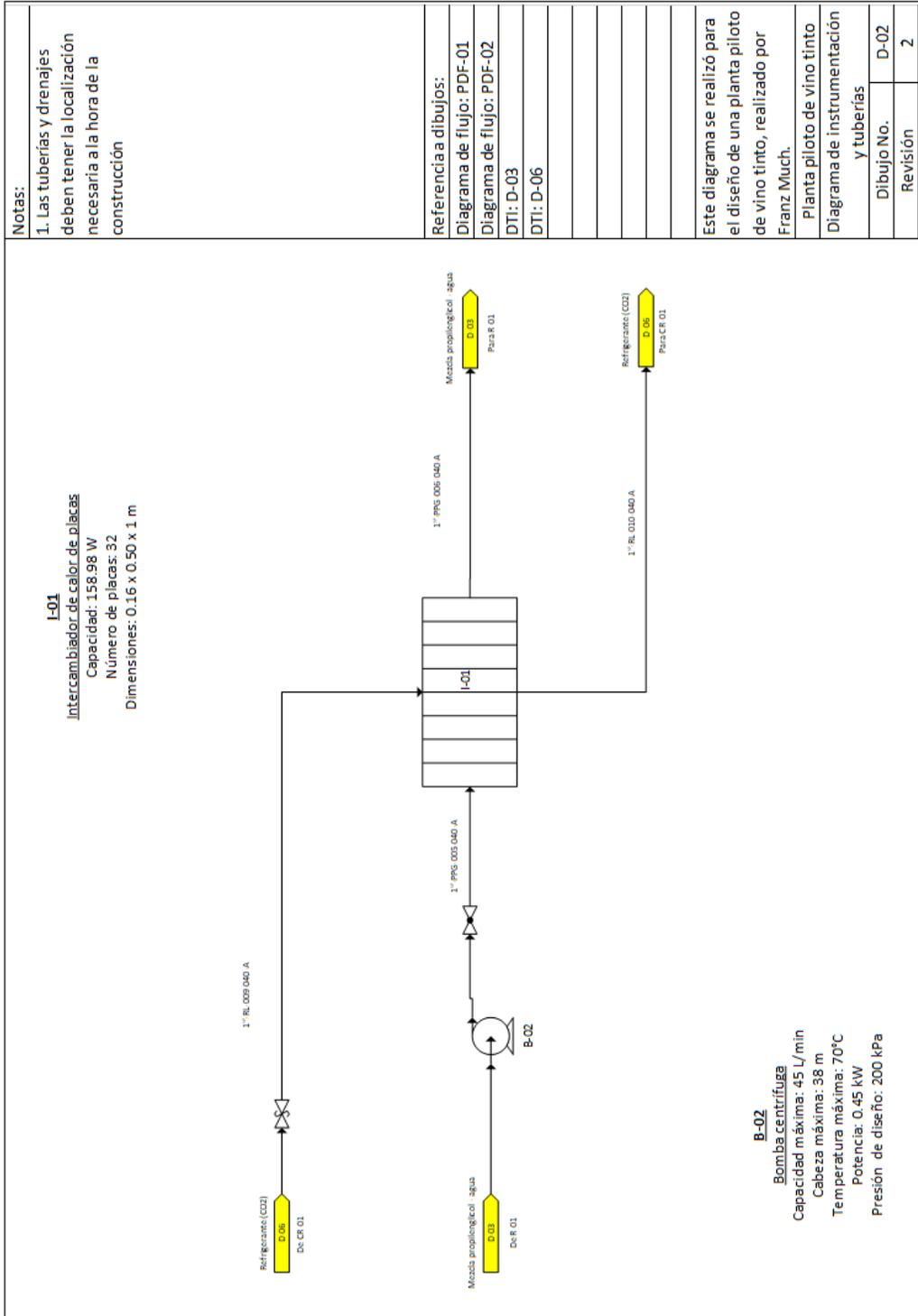


Figura 26. Diagrama de tubería e instrumentación: Intercambiador de calor.



Notas:

- Las tuberías y drenajes deben tener la localización necesaria a la hora de la construcción

Referencia a dibujos:
 Diagrama de flujo: PDF-01
 Diagrama de flujo: PDF-02
 DTI: D-03
 DTI: D-06

Este diagrama se realizó para el diseño de una planta piloto de vino tinto, realizado por Franz Much.

Planta piloto de vino tinto

Diagrama de instrumentación y tuberías

Dibujo No.	D-02
Revisión	2

Figura 27. Diagrama de tubería e instrumentación: Fermentador (reactor).

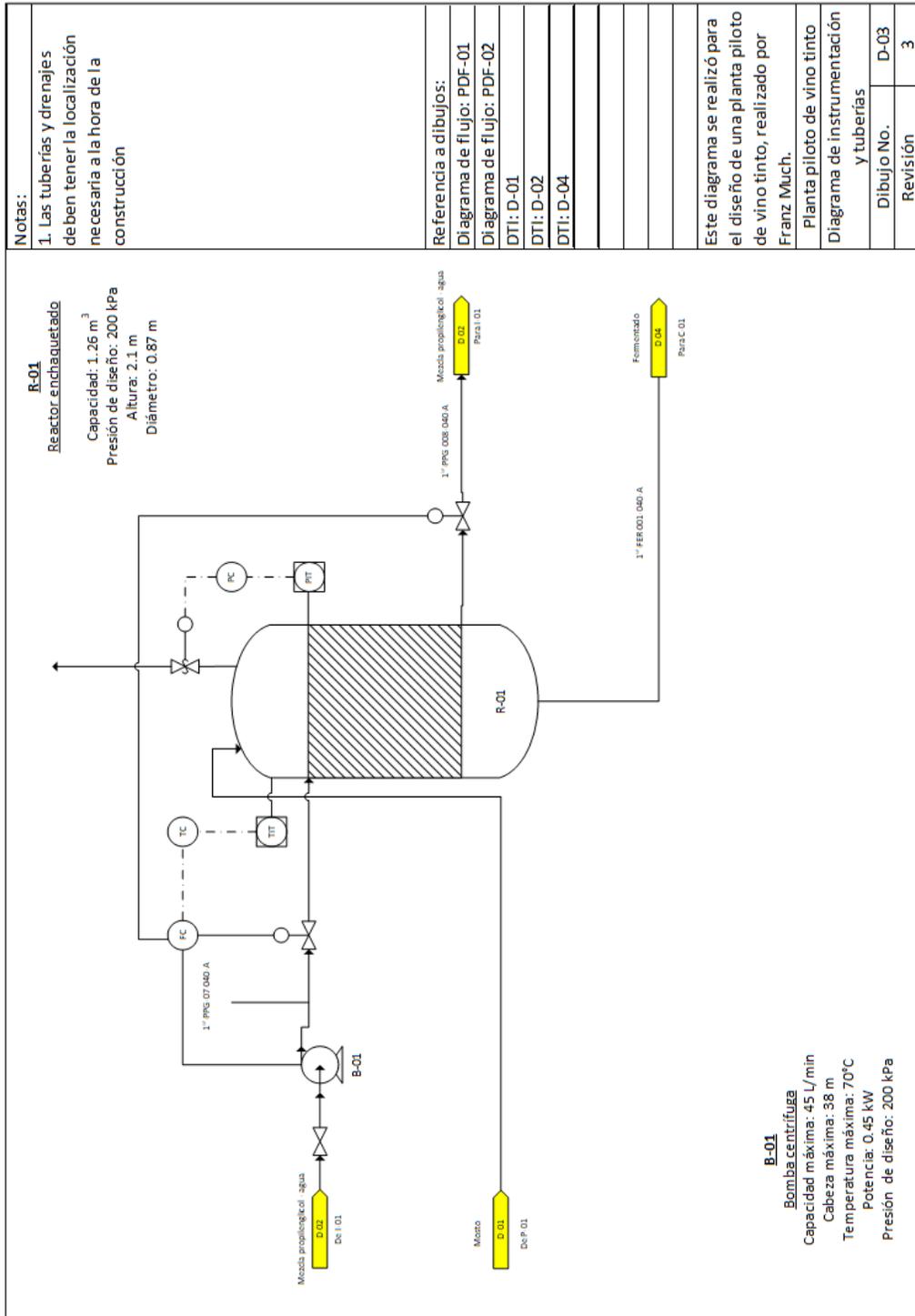


Figura 28. Diagrama de tubería e instrumentación: Centrífuga.

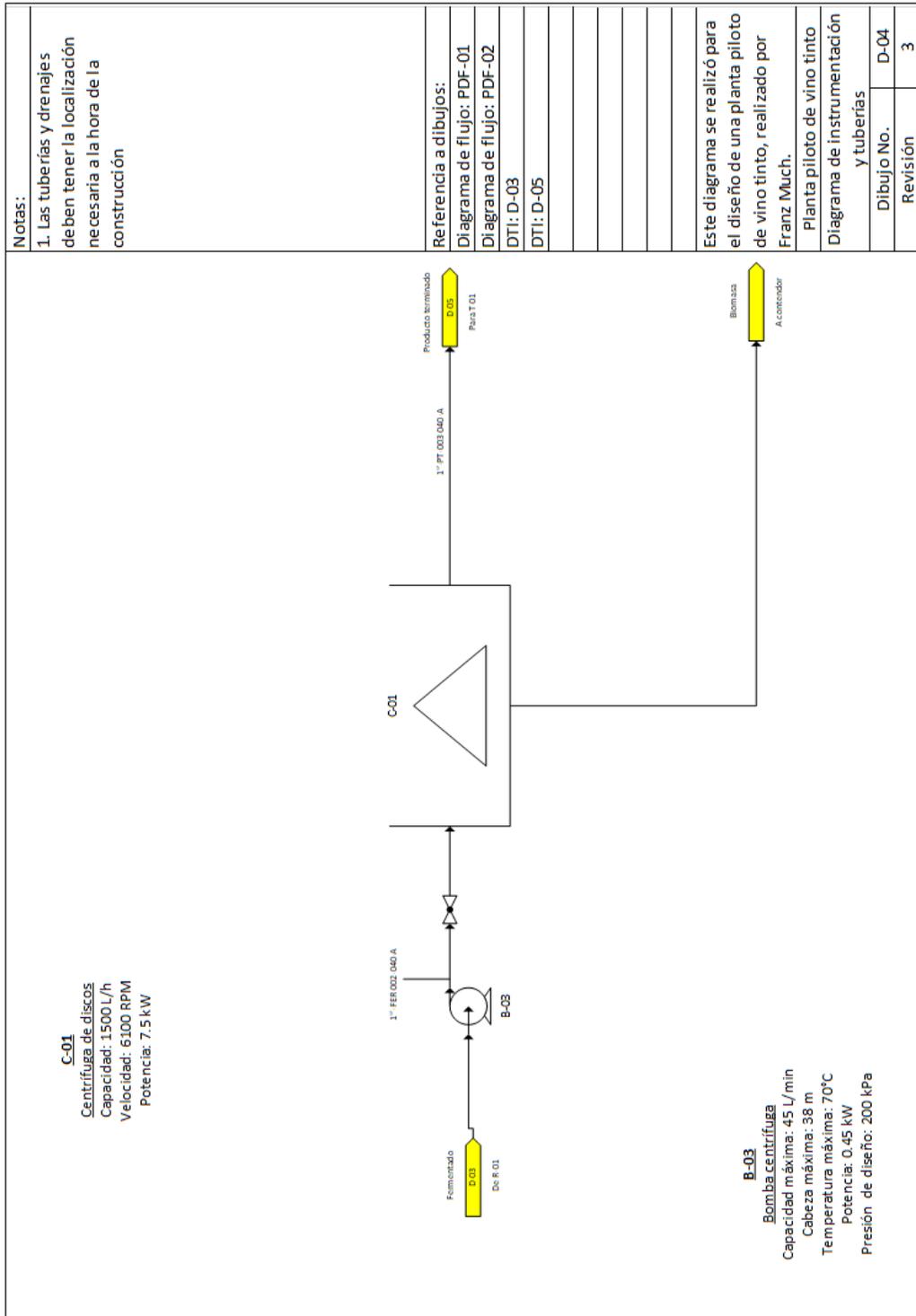


Figura 29. Diagrama de tubería e instrumentación: Tanque de producto terminado.

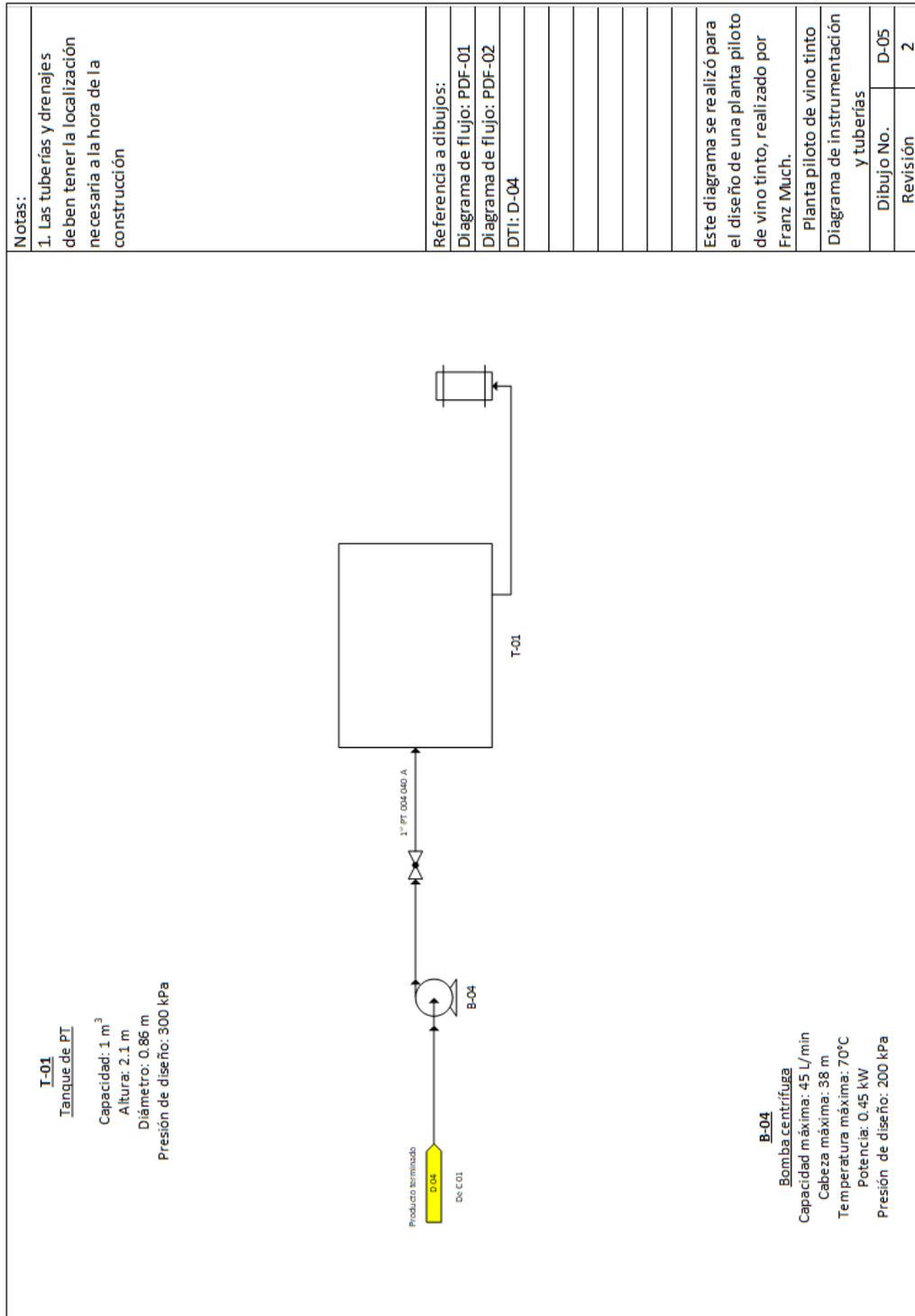
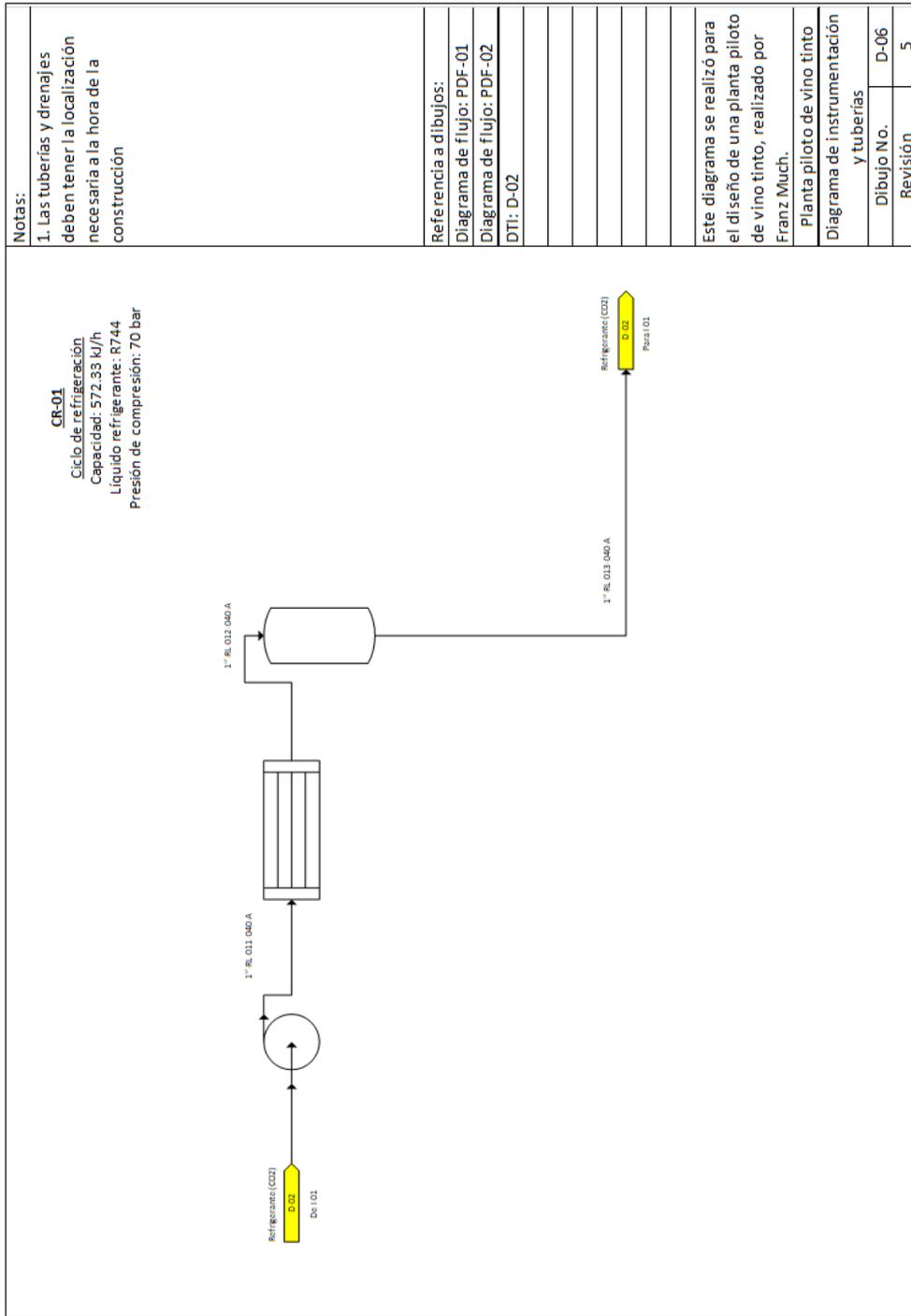


Figura 30. Diagrama de tubería e instrumentación: Ciclo de refrigeración.



D. FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

Figura 31. Viña ubicada en el lugar.



Figura 32. Equipos disponibles en la bodega.



Figura 33. Vid en fase de fructificación.



XIII. GLOSARIO

Balance de masa y energía: Cálculo realizado en procesos químicos que tienen como finalidad mostrar los flujos en un proceso específico.

Cinética química: Ecuación que define la velocidad de una reacción química.

FOB: Por su traducción al español, *Free on Board*, es un incoterm en el que la empresa que realiza la venta lleva el producto hasta el contenedor asignado por la empresa que realiza la compra. Su responsabilidad es hasta subir al contenedor.

Incoterm: Por su traducción al español, *International Commercial Terms*, son los términos que se utilizan en las operaciones de compraventa entre empresas. Estos definen las condiciones en las que se estará realizando la operación.

Mecánica de fluidos: Ámbito de la ingeniería que estudia el comportamiento de fluidos.

Reactor: Equipo donde sucede una reacción química.

Transferencia de calor: Rama de la ingeniería química que estudia los fenómenos de producción o absorción de energía en forma de calor.

Transferencia de masa: Rama de la ingeniería química que estudia las operaciones relacionadas con modificar la composición de soluciones o mezclas.