



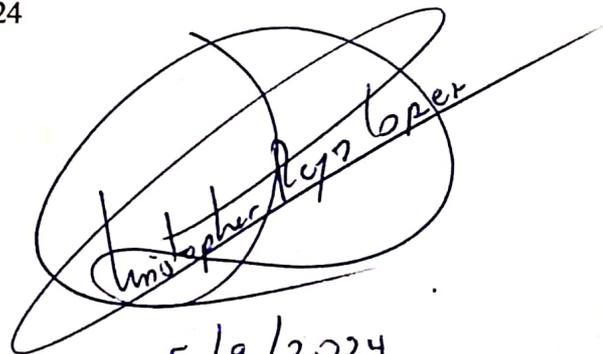
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MACERACIÓN DE UVAS
AUTOMATIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE VINO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Jimmy Hendrix Abad Miranda
Fernando André Romero Pérez
TUTOR: Christopher Rubén Reyes López

Guayaquil - Ecuador
2024


5/9/2024

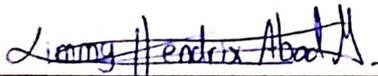
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Jimmy Hendrix Abad Miranda** con documento de identificación N° **0958499725** y **Fernando André Romero Pérez** con documento de identificación N° **0930742259**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 5 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Jimmy Hendrix Abad Miranda
0958499725



Fernando André Romero Pérez
0930742259

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Jimmy Hendrix Abad Miranda** con documento de identificación N° **0958499725** y **Fernando André Romero Pérez** con documento de identificación N° **0930742259**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MACERACIÓN DE UVAS AUTOMATIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE VINO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 5 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Jimmy Hendrix Abad Miranda
0958499725



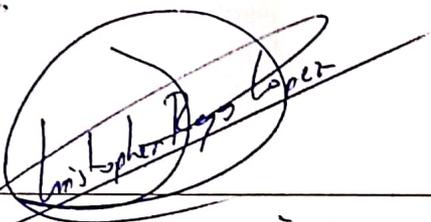
Fernando André Romero Pérez
0930742259

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Christopher Rubén Reyes López**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE MACERACIÓN DE UVAS AUTOMATIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE VINO**, realizado por **Jimmy Hendrix Abad Miranda** con documento de identificación N° **0958499725** y por **Fernando André Romero Pérez** con documento de identificación N° **0930742259**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 5 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Christopher Rubén Reyes López, Mg.
0923848691

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico con todo mi corazón a mi padre Jimmy Abad, el cual ha sido ejemplo constante de perseverancia y sacrificio. Su dedicación no solo nos ha sacado adelante, sino que me ha enseñado a luchar por mis sueños con gran determinación. Me siento inmensamente orgulloso de ser yo ser su hijo y sé que él también se siente orgulloso de mí. Todo lo que soy y lo que he logrado se lo debo a él. A mi madre y a mi abuela, Ginger Miranda e Irlanda Suárez, les agradezco profundamente por su amor y cariño incondicional y por inculcarme valores que me guían cada día. Gracias a ellas he aprendido a apreciar cada momento de la vida y a valorar la importancia de la educación, que ha sido la pilar fundamental en mi crecimiento. A mi querida tía Samira Arequipa, le agradezco por ser mi guía en los momentos difíciles y por enseñarme a superar cualquier adversidad con valentía. A mi pareja y compañera de vida, Danna Calderón, le doy las gracias por su gran amor y apoyo profundo durante toda mi etapa universitaria. Sus consejos, su cuidado y su constante motivación me han enseñado a nunca rendirme, y sé que siempre estará orgullosa de mí, así como yo lo estoy de ella.

Jimmy Hendrix Abad Miranda

Este trabajo de titulación está dedicado a mi padre Joel Fernando Romero Reina por ser mi figura ejemplar de responsabilidad, aparte de hacer el sacrificio de siempre darme educación de calidad tanto en colegio como en la universidad ayudándome, más aparte de lo económico sino también con consejos y lecciones de vida y a mi madre Paola Julieta Pérez Quiroga siempre cuidándome y protegiendo siempre viéndome con esos ojos de madre que nunca se a negado a mostrar, ambos me guiaron con su amor y perseverancia a lo largo de mi vida. A mi hermana Doménica quien a pesar de ser menor que yo nos entendemos y hacemos bromas, chistes sacándonos una sonrisa. A todos ellos les agradezco por ser mi familia, estar presente en mi vida aunque tenga mis imperfecciones nunca me abandonan.

Dedico esta investigación a toda mi familia, siempre confiando en mi, dandome su apoyo de la forma especial que cada uno tiene, esperando lo mejor de mi.

Fernando André Romero Pérez

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de toda mi etapa universitaria. Gracias a su amor y aliento constante, estoy a punto de cumplir mi sueño de convertirme en el profesional que siempre aspiré a ser.

A las amistades que la universidad me regaló, gracias por ser mi segundo hogar y por hacer de este recorrido una experiencia mucho más agradables.

Finalmente, agradezco al Ing. Christopher Reyes, mi tutor, cuya orientación y confianza fueron cruciales para la culminación de este trabajo de titulación. Su guía ha sido un pilar fundamental para alcanzar esta meta..

Jimmy Hendrix Abad Miranda

Agradezco a mi padre, madre y hermana que estuvieron siempre conmigo y preocupados por iba mi desarrollo universitario. A mi familia por siempre creer en mi y estar al tanto de mis pasos.

Agradezco a todos mi compañeros y amigos que me acompañaron en esta etapa de mi vida, ya fuera de corto a largo plazo, compartimos muchas experiencias.

Agradezco con mucho cariño al Ing.Enmanuel Torres por guía y tolerancia a mis dudas y cuestiones en el proceso de realización del proyecto, despejando mis dudas y dandome una mano amiga.

Fernando André Romero Pérez

ÍNDICE

I.	Introducción	3
II.	PROBLEMA	4
III.	JUSTIFICACIÓN	5
IV.	OBJETIVOS	6
IV-A.	Objetivo general	6
IV-B.	Objetivos específicos	6
V.	MARCO TEÓRICO	7
V-A.	Historia del Vino	7
V-B.	Proceso de Elaboración del Vino	7
V-C.	Maceración en la Vinificación	8
V-D.	Tipos de Maceración	10
V-D1.	Clásica	10
V-D2.	Crío-maceración	10
V-D3.	Carbónica	11
V-E.	Clarificación	11
V-F.	Estabilización	11
V-G.	Envejecimiento	11
V-H.	Conservación del Vino	12
V-I.	Método de Almacenamiento	12
V-J.	Economía del Vino y su Impacto	13
VI.	MARCO METODOLÓGICO	14
VII.	DISEÑO DE LA PLANTA	15
VII-A.	Modelado y Simulación del Layout en FlexSim	15
VII-B.	Selección de uvas	16
VII-C.	Área de Despalillado	17
VII-D.	Selección de la Despalilladora: Control de Velocidad Variable	18
VII-D1.	Beneficios de la Despalilladora con Control de Velocidad Variable	18
VII-E.	Área de Prensado	19
VII-F.	Prensa Neumática en el Proceso de Prensado	20
VII-F1.	Beneficios del Uso de la Prensa Neumática para el Mosto	20
VII-G.	Maceración	21
VII-G1.	Control de temperatura en la Maceración	21
VII-H.	Tanque de Acero Inoxidable para la Maceración	22
VII-I.	Sección de descube	23
VII-I1.	Proceso de Descube	23
VII-J.	Área de Clarificación	24
VII-J1.	Método con bentonina	24
VII-K.	Área de filtración	25
VII-K1.	Filtración de Placas	26
VII-L.	Cámara de envejecimiento	27
VII-L1.	Foudres	28
VII-M.	Bodega de Barricas	29
VII-N.	Zona de carga y descarga	30

VII-Ñ.	Diseño de Estructuras Mecánicas en Solidworks	31
VII-O.	Descripción y Análisis de Equipos	31
VIII.	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	35
VIII-A.	Control de Temperatura en la Maceración	35
VIII-B.	Prototipo control PID	35
VIII-B1.	Bloques de Simulink	36
VIII-B2.	Bloques de Simscape	36
VIII-C.	Prototipo control fuzzy	37
VIII-D.	Prototipo control por método de histeresis	39
VIII-E.	Funcionamiento	39
VIII-F.	Diseño e Implementación de una Planta Automatizada en Labview	44
VIII-G.	Diagrama de Bloques	45
VIII-G1.	Bloque de Recolección	46
VIII-G2.	Bloque de Intercambiador y Prensado	46
VIII-G3.	Bloque de Maceración	47
VIII-G4.	Bloque de Centrifugado	48
VIII-G5.	Bloque de Control Temperatura	48
IX.	RESULTADOS	49
IX-A.	Simulación del diseño de una plana de elaboración de vino	49
IX-B.	Sección de Maceración	49
IX-C.	Viabilidad Económica	50
IX-D.	Respuesta del control de temperatura por método de hysteresis	51
IX-E.	Respuesta gráfica del bloque sine wave	52
IX-F.	Gráfica del calentador y refrigerante	52
IX-G.	Diagrama de Bloques del Sistema de Control de Temperatura	53
IX-H.	Análisis y Factor de Seguridad	54
IX-I.	Ventajas del Material	55
IX-J.	Sistema Automatizado	55
X.	CRONOGRAMA	57
XI.	PRESUPUESTO	58
XII.	CONCLUSIÓN	59
XIII.	RECOMENDACIONES	60
XIV.	ANEXOS	64
XIV-A.	modelo de la planta de elaboración	64
XIV-B.	Simulaciones de control	64
XIV-C.	Planos	66
XIV-D.	Bloques de Automatización	72

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Etapas de la producción de vino [11].	8
2.	Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino[16].	9
3.	Representación del futuro digital en la viticultura[22].	10
4.	Crio-maceración[24].	10
5.	Bodegas de barricas [28].	12
6.	Panorama del Ecosistema Vitivinícola [32].	13
7.	Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de vino hasta la maceración carbónica.Fuente:Los autores	14
8.	Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de vino hasta la bodega de barricas.Fuente:Los autores	15
9.	Perspectiva superior del prototipo de una planta de elaboración de vino	16
10.	Proceso de Inspección y Selección Inicial de Uvas	17
11.	Proceso de Separación de Uvas y Tallos	18
12.	Despalilladora con control de velocidad variable	19
13.	Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino	20
14.	Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino	21
15.	Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino	22
16.	Tanque de Acero Inoxidable para Maceración Controlada	23
17.	Tanque de Descube	24
18.	Área de Clarificación	24
19.	Tanque de Procesamiento de Clarificación	25
20.	Área de filtración	26
21.	Sistema de Filtración por Placas	27
22.	Cámara de envejecimiento	28
23.	Foudre	29
24.	Sala de barricas	30
25.	Camiones de carga y descarga de uvas y barricas. Fuente: Los autores	31
26.	Despalilladora 3D.Fuente: Los autores	32
27.	Shell and Tube.Fuente: Los autores	32
28.	Análisis Shell and Tube.Fuente: Los autores	33
29.	Tanque de Macerado 3D.Fuente: Los autores	34
30.	Análisis Presión de Tanque 3D.Fuente: Los autores	34
31.	Análisis Flujo de Tanque 3D.Fuente: Los autores	35
32.	Sistema PID prototipo	36
33.	Sección de bloques simulink	36
34.	Sección de bloques simscape	37
35.	Sistema de control de temperatura con control difuso.	38
36.	Diagrama de Control Difuso	38
37.	Diagrama de Control por histeresis	39
38.	Bloque sine wave	40
39.	Grafica del sine wave	40
40.	Propiedades del bloque sine wave	41
41.	Calentador y refrigerante	42
42.	Graficas del calentador y refrigerante	42
43.	Propiedades del los bloques relay	43
44.	Bloque constant	43
45.	Conmutador	44
46.	Gráfica del resultado referente a la señal como al calentador/refrigerante	44
47.	Interfaz Planta	45
48.	Bloque Recolección	46

49.	Bloque Prensado-Intercambiador	47
50.	Bloque Maceración	47
51.	Bloque Centrifugado	48
52.	Control Temperatura	48
53.	Diseño de una planta de elaboración de vino	49
54.	Sala de maceración	50
55.	TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS	51
56.	Resultado del control de temperatura	51
57.	Grafica del Sine wave	52
58.	Gráfica del calentador/refrigerante	53
59.	Diagrama de Bloques del Sistema de histeresis	54
60.	Factor de Seguridad	55
61.	Diagrama de Bloque	56
62.	Planta de elaboración de vinos	64
63.	Maquinas esenciales para la planta de elaboración de vino	64
64.	Diagrama de bloques prototipo PID	65
65.	Diagrama de bloques prototipo control difuso	65
66.	Diagrama de bloques control por hysteresis on/off	66
67.	Plano Base	66
68.	Plano Brida	67
69.	Plano Brida 2	67
70.	Plano Motor	68
71.	Plano Brida	68
72.	Plano Tolva de Alimentación	69
73.	Plano Tornillo Sinfín	69
74.	Cáscara	70
75.	Embudo con brida	70
76.	Tubo	71
77.	Perno	71
78.	Tapa Macerado	72
79.	Tapa Macerado	72
80.	Funciones Array	73
81.	Funciones Booleanas	73
82.	Funciones Comparación	74
83.	Funciones Numéricas	74

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Tabla de Objetivos.	6
II.	CRONOGRAMA. Fuente: Los autores	57
III.	Presupuesto. Fuente: Los autores	58

RESUMEN

El presente proyecto se presenta el diseño de un sistema automatizado para la maceración de uvas en el proceso de producción de vino, con el objetivo principal de optimizar la extracción de compuestos fenólicos y mejorar significativamente la calidad del producto final. A través de la integración de tecnologías avanzadas como Simulink, Solidworks, FlexSim y LabVIEW, se han modelado y simulado diferentes escenarios del proceso de maceración, permitiendo evaluar la eficiencia en el control de temperatura, así como visualizar su proceso automatizado. Esta investigación demuestra que la automatización en la maceración de uvas no solo es viable, sino altamente beneficiosa, al proporcionar una maceración más precisa y controlada que reduce los costos operativos y aumenta la consistencia en la calidad del vino producido.

El sistema automatizado propuesto es capaz de monitorear y ajustar en tiempo real los parámetros esenciales durante la maceración, lo que resulta en un proceso más eficiente y reproducible en comparación con los métodos tradicionales. Además, se han implementado técnicas de control avanzado para mantener condiciones óptimas como la temperatura para que maximicen la extracción de antocianinas y otros compuestos deseables, mejorando así las características del vino.

La implementación de este sistema en la industria vitivinícola ofrece no solo beneficios económicos significativos a largo plazo, sino que también mejora la competitividad en el mercado global, al permitir la producción de vinos de alta calidad de manera consistente. Este trabajo subraya la importancia de la automatización en los procesos de vinificación en el Ecuador, destacando cómo la innovación tecnológica puede transformar y optimizar industrias tradicionales como la vitivinícola.

Palabras claves: Maceración de uvas, Automatización, Producción de vino, Control de temperatura, Control difuso, PID, Histeresis, Fuzzy, Extracción de compuestos fenólicos, Simulink, FlexSim, LabVIEW, Solidwork.

This thesis explores the development of a cutting-edge automated system designed for grape maceration in winemaking, aiming to optimize the extraction of phenolic compounds while significantly enhancing the final product's quality. By leveraging advanced technologies like Simulink, FlexSim, and LabVIEW, the research models and simulates various maceration scenarios, enabling a detailed assessment of temperature control efficiency alongside other crucial parameters. The findings suggest that automating grape maceration is not only practical but also advantageous, offering a more controlled and precise process that minimizes operational costs and ensures consistent wine quality.

The automated system described in this work is engineered to monitor and adjust key maceration parameters in real-time, resulting in a process that is more efficient and reliable compared to traditional methods. Moreover, advanced control strategies are utilized to maintain optimal conditions for maximizing the extraction of anthocyanins and other essential compounds, which significantly enhance the wine's sensory qualities.

Adopting this system within the wine industry presents substantial long-term economic benefits and enhances competitiveness on a global scale by enabling consistent high-quality wine production. This thesis emphasizes the critical role of automation in modern winemaking, illustrating how technological advancements can revolutionize and improve traditional viticultural practices.

Keywords: Grape maceration, Automation, Wine production, Temperature control, Fuzzy control, PID, Hysteresis, Fuzzy logic, Phenolic compound extraction, Simulink, FlexSim, LabVIEW, SolidWorks.

I. INTRODUCCIÓN

La maceración de uvas un proceso fundamental en la creación de vino, durante la cual se busca maximizar la extracción de compuestos fenólicos responsables del color, sabor y textura del producto final. Este proceso, que ha sido tradicionalmente manual y está sujeto a variaciones que posiblemente dañen el sabor y olor del vino [1]. El método artesanal requiere mucho trabajo manual y es susceptible a errores humanos, lo que aumenta los costos operativos y reduce la productividad y con la alta demanda vinos de buena calidad y la necesidad de procesos más eficientes y consistentes, la automatización de la maceración de uvas se presenta como una solución tanto innovadora como altamente prometedora.

En este contexto, nuestro trabajo de titulación se enfoca en el diseño y simulación de un sistema automatizado de maceración de uvas utilizando tecnologías avanzadas como Simulink, FlexSim, LabVIEW y SolidWorks. Estas herramientas permiten modelar y controlar parámetros decisivos como la temperatura y el tiempo de maceración, fundamentales para asegurar la extracción óptima de compuestos deseables. La automatización propuesta no solo mejora la precisión del proceso, sino que también ofrece una reducción significativa en los costos operativos y una mayor calidad en los resultados.

El objetivo de nuestra tesis es evidenciar que la automatización en la maceración de uvas puede ser una herramienta clave para la industria vitivinícola, no solo en términos de calidad del vino, sino también en cuanto a la eficiencia y rentabilidad del proceso. A lo largo de esta tesis, se analizarán las ventajas y desafíos de la implementación de sistemas automatizados en la producción de vino, subrayando cómo estas tecnologías pueden revolucionar la industria y mejorar la competitividad en el mercado global.

II. PROBLEMA

En el Ecuador, la industria vitivinícola enfrenta grandes desafíos que dificultan su capacidad para competir, tanto a nivel nacional como internacional. Muchos productores de vino, especialmente las pequeñas y medianas empresas (PYMES), todavía dependen de métodos tradicionales y manuales. Esto conduce a una menor eficiencia y una calidad inconsistente del vino. Como resultado, los vinos ecuatorianos tienen dificultades para destacarse en el mercado global, limitando el crecimiento económico del sector vitivinícola local [1].

Por otra parte, aunque la maceración manual es, sin duda, una técnica muy antigua y tradicional, influye del mismo modo en las posibilidades de obtener resultados poco eficientes. Las técnicas varían de un operador a otro, por lo que el rendimiento de los resultados no es fiable ni coherente. En el caso del control de la temperatura, el pH y el tiempo, algunos factores críticos son esenciales para la extracción óptima de los compuestos fenólicos y aromáticos, cruciales para la producción de vino de buena calidad. El método artesanal requiere mucho trabajo manual y es susceptible a errores humanos, lo que aumenta los costos operativos y reduce la productividad [2].

La automatización implica la programación precisa de los actuadores presentes en los equipos utilizados durante el proceso. Estos actuadores, como válvulas, bombas y agitadores, reciben señales de los sensores distribuidos que activan una serie de acciones descritas en un protocolo específico. Sin una correcta implementación y programación de estos componentes automatizados la calidad del producto final y el uso de los recursos son ineficientes [2].

III. JUSTIFICACIÓN

El sistema automatizado propuesto se desarrolla un alto rendimiento posible bajo normas alcanzadas, higiene y pleno aprovechamiento de los recursos disponibles durante los procesos de maceración y vinificación de la uva. La producción automatizada de vino reduce el coste y el tiempo de producción gracias a la eliminación de factores que pueden atentar contra la calidad de los productos. También minimiza el desperdicio de materias primas, reduce el uso de energía, y fomenta el uso eficiente del agua [3].

Se pretende desarrollar como una solución económica y práctica para las bodegas de producción de mediana escala que actualmente presentan altos costos y deficientes mecanismos de manejo manual. Las bodegas ecuatorianas forman una parte integral de la industria vitivinícola, por lo que la implantación de este sistema puede contribuir en gran medida a cambiar sus formas de operar, haciéndolas capaces de competir eficientemente tanto en el mercado nacional como en el internacional [4].

La automatización se hace imprescindible para este proyecto en Ecuador. La experiencia obtenida en la automatización de esta operación previa con la industria pisquera de Perú muestra excelentes ventajas para el productor en temas de costos y aumento de la producción. Esta tendencia de automatización y modernización de las bodegas ha influido en el crecimiento y competitividad del sector en Perú [5].

Al revisar todo el proceso de elaboración del vino, se observa que la automatización de todo el proceso no sólo facilitará la reducción de tiempo y costes, sino que también aportará consistencia en la calidad. El uso de controladores lógicos programables (PLC) para obtener un control exacto de las variables independientes reduciría las variabilidades indeseables y produciría productos mucho más uniformes y de mayor calidad [2].

IV. OBJETIVOS

IV-A. *Objetivo general*

Diseñar un Sistema Automatizado de maceración de uvas para que mejore la Producción Vitivinícola.

IV-B. *Objetivos específicos*

- Diseñar los componentes mecánicos de la planta de maceración mediante Herramientas de Diseño 3D.
- Diseñar el sistema de automatización y la red de sensores y actuadores mediante herramientas de simulación electrónica.
- Evaluar la viabilidad técnica económica del sistema de maceración de uvas automatizado considerando costos de implementación y operación que mejoren la producción de vino de calidad.

PLANTEAMIENTO	META	INDICADOR
Diseñar los componentes mecánicos de la planta de maceración mediante Herramientas de Diseño 3D.	El análisis térmico realizado al tanque de macerado, obtuvimos un factor de seguridad de 20.	Validado por el software complemento Solidworks Simulation
Diseñar el sistema de automatización y la red de sensores y actuadores mediante herramientas de simulación electrónica.	Desde el despalillado hasta la fase de centrifugado, se ha optimizado el proceso reduciendo el tiempo a 24,6 segundos. De la misma manera, el control de temperatura mediante el método on/off se ha mantenido estable entre los rangos de 28°C y 30°C.	Sistema de automatización funcional simulado a través de Simulink Y LabVIEW.
Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema de maceración de uvas automatizado.	Sea demostrado que el sistema es económicamente viable en comparación con métodos tradicionales, con un retorno de inversión del 156,11% mayor que con metodos tradicionales en un año.	Retorno de inversión y análisis económico de la planta calculados mediante el programa Excel.

Tabla I
TABLA DE OBJETIVOS.

Fuente: Los autores

V. MARCO TEÓRICO

V-A. *Historia del Vino*

La creación de vino se traslada a milenios atrás, con evidencia arqueológica nos indica sobre viticultura como también de la producción de vino se registro que empezó en la región del Cáucaso alrededor del 6000 a.C. Esta bebida ancestral ha sido una parte crucial de varias culturas a lo largo de generaciones, desde la civilización egipcia hasta la Grecia y Roma antiguas. El vino no solo ha sido apreciado por su sabor y efectos, sino que también ha desempeñado un rol significativo en rituales religiosos y eventos sociales [6]. La producción de vino se difundió desde el Medio Oriente hacia Europa a través de los griegos y romanos. Específicamente, estos últimos fueron responsables de la expansión de la viticultura en gran parte de Europa, cultivando viñedos en regiones que hoy en día son conocidas por sus vinos, como Francia, España e Italia [7].

El vino tiene un profundo significado cultural en muchas regiones del mundo. En Europa, por ejemplo, es un componente esencial de la cultura gastronómica y social. En Francia e Italia, el vino es considerado no solo un arte, es, del mismo modo, una tradición familiar que se perpetúa a través de las generaciones. [4]. Además, el proceso de creación de vino es crucial en diversas festividades y ceremonias religiosas, especialmente en tradiciones cristianas y judías. Desde un punto de vista económico, la industria vitivinícola es una de las más relevantes en términos de producción agrícola y generación de ingresos. Según datos recientes, la producción mundial de vino asciende a aproximadamente 260 millones de hectolitros al año, con una industria que tiene un valor estimado en varios millones de dólares [4].

V-B. *Proceso de Elaboración del Vino*

El proceso de elaboración del vino consiste en una serie de etapas claramente definidas que permiten transformar las uvas en vino, conservando y mejorando las características objetivo del producto final. A continuación, se describen las principales fases del proceso de vinificación. La recolección de las uvas es el primer paso fundamental en la producción de vino. Dependiendo del tipo de vino que se desee obtener, las uvas se recogen en diferentes grados de madurez. Generalmente, la recolección se realiza a mano o utilizando maquinaria especializada para evitar el daño a las uvas [8]. La elección de la madurez exacta de la uva es importante para asegurar la calidad del mosto, ya que los niveles de acidez y azúcar en las uvas cambian significativamente durante la maduración.

Tras la cosecha, las uvas pasan por el proceso de despalillado, donde se separan los granos del escobajo. Este proceso es esencial para evitar sabores amargos en el vino. A continuación, las uvas se estrujan ligeramente para liberar el mosto. Siguiendo con el estrujado, se busca extraer mosto que facilite la siembra de levaduras [9]. En la producción de vinos tintos, el mosto se deja en contacto con los hollejos y las semillas durante la maceración. Durante este proceso, los taninos y pigmentos naturales son extraídos de los hollejos, contribuyendo al color y la estructura del vino tinto [10]. La duración de este proceso puede variar desde unos pocos días hasta varias semanas, dependiendo del estilo de vino deseado. La fermentación alcohólica es el proceso en el que las levaduras transforman los azúcares del mosto en alcohol y dióxido de carbono. En los vinos tintos, esta se produce mientras las partes sólidas están presentes, lo que asegura una positiva extracción del color [9]. Tanto la temperatura como la duración de la fermentación deben ser controladas cuidadosamente para asegurar la calidad del vino. El control de la temperatura es una parte crucial para evitar que las levaduras mueran prematuramente o que el proceso sea demasiado lento [10].

Después de la fermentación, el vino se separa de los sólidos mediante el prensado. En el caso de los vinos tintos, este proceso se conoce como descube [11]. Los sólidos restantes se presan para extraer el vino de prensa, que tiene una mayor cantidad de taninos y puede ser mezclado con el vino de yema dependiendo del criterio del enólogo. Esta fermentación secundaria transforma el ácido málico en ácido láctico, suavizando la acidez del vino. La fermentación malo-láctica convierte el ácido málico en ácido láctico, reduciendo la acidez y refinando los sabores, lo que contribuye a la calidad final del producto. [9].

La mejor opción para hacer envejecer el vino es ponerla en barricas de roble para desarrollar complejidad y mejorar sus características organolépticas. Durante la crianza en barricas, el vino se somete a trasiegos periódicos para eliminar impurezas y sedimentos [9]. La madera de las barricas aporta taninos y compuestos aromáticos que enriquecen el perfil del vino. Antes del embotellado, el vino se clarifica y filtra para eliminar cualquier partícula en

suspensión y asegurar que el producto final sea claro y estable. Estos procesos son cruciales para obtener un vino límpido y cristalino, estable física, química y microbiológicamente [9].

Finalmente, el vino se embotella y se deja reposar durante un período antes de ser comercializado. Este tiempo de reposo en botella permite que el vino se estabilice y alcance su máximo potencial [9]. Este paso es crucial para que los sabores se integren y el vino adquiera una mayor armonía. La automatización fomenta la innovación al permitir la integración de nuevas tecnologías que pueden mejorar aún más la producción de vino. Por ejemplo, la bodega Enartis está utilizando inteligencia artificial para analizar tendencias de mercado y predecir la demanda futura de vino [12].

En conclusión, la automatización y el monitoreo son fundamentales para el futuro de la industria vitivinícola. Estos sistemas mejoran la eficiencia y la calidad del vino y ofrecen beneficios en seguridad, sostenibilidad y flexibilidad, asegurando que la industria pueda continuar prosperando en un mercado global competitivo. Con la automatización, las bodegas están bien posicionadas para enfrentar los desafíos del futuro y satisfacer las demandas de los consumidores de manera efectiva y sostenible.



Figura 1. Etapas de la producción de vino [11].

V-C. Maceración en la Vinificación

La maceración es una etapa crítica en la vinificación, especialmente en la producción de vinos tintos, donde el mosto se deja en contacto con los hollejos y los granos para extraer color, taninos y aromas. Este proceso se lleva a cabo después del despalillado y estrujado de las uvas y puede durar días o semanas, dependiendo del estilo de vino que se desea obtener [3]. Durante la maceración, los componentes fenólicos presentes en las pieles y las semillas se disuelven en el mosto. Estos fenoles incluyen taninos y antocianos, que son responsables de la estructura y el color del vino tinto [5]. Además, los taninos extraídos durante la maceración contribuyen a la estabilidad cromática y la aptitud para el envejecimiento del vino. Los taninos también aportan una sensación de astringencia en boca, que puede balancearse con el tiempo y la crianza [13].

Existen diferentes técnicas de maceración utilizadas por los enólogos para optimizar la extracción de compuestos deseados. La maceración en frío, por ejemplo, se realiza a temperaturas bajas antes de que comience la fermentación, favoreciendo la extracción de compuestos aromáticos sin extraer demasiados taninos [14]. Otra técnica es el remontado, donde el mosto en fermentación se bombea sobre el sombrero de pieles que se forma en la superficie del tanque, asegurando un contacto continuo y homogéneo entre el mosto y los hollejos.

La duración de la maceración influye directamente en el perfil final del vino. Maceraciones más largas tienden a producir vinos con mayor cuerpo, color más intenso y mayor contenido de taninos, mientras que maceraciones más cortas resultan en vinos más ligeros y frutales [15]. Es crucial que los enólogos monitoreen constantemente el proceso para evitar la sobre extracción de compuestos que puedan dar lugar a sabores indeseables o excesiva astringencia. En resumen, la maceración es una etapa fundamental en la elaboración del vino tinto, determinando en gran medida sus características sensoriales y su capacidad de envejecimiento. Controlar los parámetros de temperatura, tiempo y técnicas de maceración es esencial para producir un vino equilibrado y de alta calidad [11].

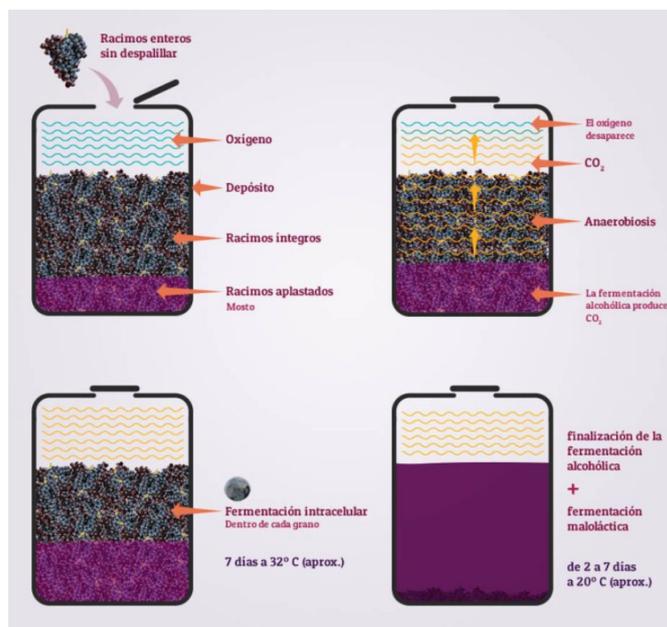


Figura 2. Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino[16].

Una de las áreas más impactadas por la automatización es la cosecha de uvas. Las máquinas cosechadoras modernas pueden recoger uvas de manera más rápida y eficiente que el trabajo manual, reduciendo significativamente los costos laborales. Además, estas máquinas están equipadas con sensores que pueden distinguir entre uvas maduras y no maduras, asegurando que solo las mejores frutas sean recolectadas. El uso de cosechadoras automáticas no solo mejora la eficiencia, sino que también minimiza el daño a las uvas, preservando su calidad para el proceso de vinificación [17]. En el proceso de fermentación, los tanques automatizados equipados con sensores y sistemas de control permiten monitorear y ajustar en tiempo real la temperatura y otros parámetros críticos. Estos sistemas garantizan que la fermentación se lleve a cabo en condiciones óptimas, mejorando la consistencia y la calidad del vino. La automatización en esta etapa también permite una mejor gestión del tiempo y de los recursos, ya que los enólogos pueden supervisar múltiples lotes simultáneamente.

La automatización también ha avanzado en la etapa de embotellado, donde las líneas de embotellado automatizadas pueden llenar, sellar y etiquetar botellas con una rapidez mucho mayor que los métodos convencionales. Estas líneas no solo aumentan la productividad, sino que también aseguran que cada botella esté llena con la misma cantidad exacta de vino y que el sellado sea hermético para evitar oxidaciones. El etiquetado automatizado asegura una presentación uniforme del producto final, lo cual es crucial para la comercialización. La integración de tecnologías como el Internet y el análisis de datos también está transformando la industria vitivinícola. Los sensores IoT pueden proporcionar datos en tiempo real sobre las condiciones del viñedo, como la humedad del suelo y la temperatura, lo que permite una gestión más precisa y eficiente de los cultivos [18].

La automatización en la industria vitivinícola ha revolucionado la manera en que se producen los vinos, mejorando la eficiencia, la consistencia y la calidad del producto final. La implementación de tecnologías automatizadas en diferentes etapas del proceso de vinificación ha permitido a los productores reducir costos, minimizar errores humanos y optimizar el control de calidad [19]. Sensores en viñedos y bodegas, robots que asisten a los viticultores, satélites que vigilan los viñedos o blockchain, entre otras innovaciones, son algunas de las tendencias destacadas por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) en lo que respecta a las tendencias digitales en el sector vitivinícola. La digitalización moderna ofrece numerosas oportunidades para innovar, junto con diversos beneficios, como un mayor rendimiento en los viñedos, una alta productividad mediante el uso de datos tecnológicos de IA, y una reducción de costos a través de la implementación de almacenamiento [20].

Se puede concluir que la adopción de la digitalización en el sector de la viña y el vino aún se encuentra en una

etapa inicial, pero con un gran potencial de crecimiento. Se espera un impacto considerable en el sector a corto y mediano plazo (5-10 años). Los expertos encuestados consideran que el nivel de adopción de estas tecnologías es intermedio en comparación con otros sectores. Aunque el sector de la vid y el vino no es el más avanzado tecnológicamente, no parece estar rezagado en comparación con otros sectores agroalimentarios como el café, el aceite de oliva, el cacao, entre otros. [21].

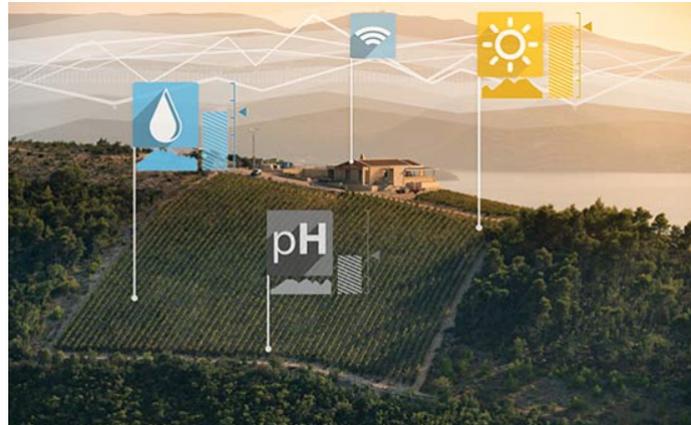


Figura 3. Representación del futuro digital en la viticultura[22].

V-D. Tipos de Maceración

Existen varios tipos de maceración en la elaboración del vino, cada uno con características y resultados específicos. Siendo los siguientes los principales tipos de maceración utilizados:

V-D1. Clásica: Es el proceso más común en la vinificación de vinos tintos. Consiste en dejar que las pieles de las uvas se mantengan en contacto con el mosto durante la fermentación alcohólica. Generalmente se deja entre 10 días a 1 mes dependiendo del vino que desee. [23].

V-D2. Crío-maceración: En este método las uvas se mantienen en una temperatura baja, dentro de 0 a 10°C antes de que comience la fermentación. Esto favorece en la extracción de compuestos aromáticos y algunos polifenoles sin extraer demasiados taninos o color, lo que resulta en vinos con más frescura y complejidad aromática.[23].

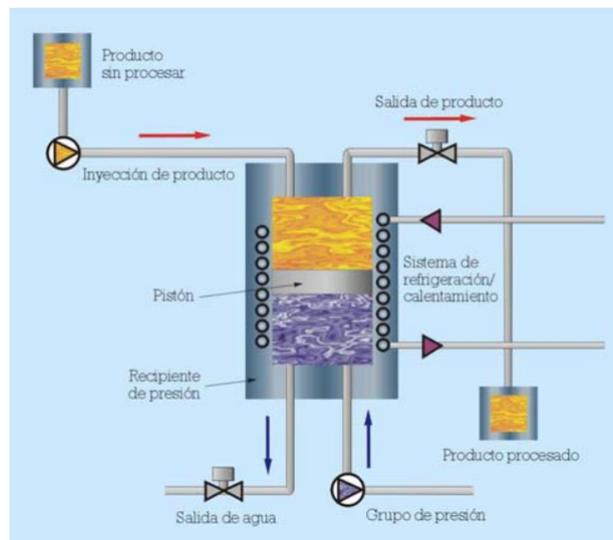


Figura 4. Crío-maceración[24].

V-D3. Carbónica: Las uvas enteras, sin despalillar ni triturar, se colocan en un tanque cerrado y saturado con dióxido de carbono. Dentro de las bayas, comienza una fermentación intracelular. Suele tomar de 5 a 15 días.[23].

V-E. Clarificación

La clarificación no solo mejora la claridad visual del vino, sino que también previene la formación de sedimentos indeseables durante el almacenamiento. Existen diversas técnicas de clarificación, como la sedimentación natural, el uso de agentes clarificantes (como la bentonita, gelatina o claras de huevo), y la filtración. La elección del método depende de varios factores, incluyendo el tipo de vino, las características deseadas en el producto final y las regulaciones enológicas. Un proceso de clarificación bien ejecutado contribuye a la estabilidad física y microbiológica del vino, preparándolo para su posterior estabilización y envejecimiento. Es recomendable realizar pruebas preliminares para determinar el agente clarificante más adecuado y la dosis correcta, evitando así un impacto negativo en el perfil sensorial del vino. Asimismo, se debe considerar el tiempo adecuado para que la clarificación ocurra de manera óptima, permitiendo que el vino alcance la estabilidad física y microbiológica deseada antes de pasar a las etapas posteriores de estabilización y envejecimiento. [25].

V-F. Estabilización

La estabilización del vino es un conjunto de técnicas empleadas para asegurar que el vino mantenga su calidad y apariencia durante su vida útil, evitando reacciones químicas y microbiológicas no deseadas. La estabilización se lleva a cabo para prevenir problemas como la precipitación de cristales de tartrato, la aparición de turbidez, y el crecimiento de microorganismos que puedan alterar el sabor o la integridad del vino. Entre las técnicas más comunes de estabilización se encuentran la estabilización en frío, que previene la precipitación de tartratos mediante el enfriamiento del vino a bajas temperaturas; la estabilización química, que puede incluir el uso de dióxido de azufre, ácido ascórbico u otros aditivos permitidos para inhibir la oxidación y el crecimiento microbiano; y la estabilización mediante filtración, que retira levaduras y bacterias residuales. Es recomendable realizar un control riguroso de las condiciones de temperatura durante la estabilización en frío, asegurando que el vino se mantenga en el rango adecuado para prevenir la cristalización de tartratos. Además, la dosis de productos químicos debe ser cuidadosamente ajustada para no comprometer las propiedades organolépticas del vino. Por último, la estabilización debe ser seguida de un análisis sensorial y químico para verificar la estabilidad lograda y asegurar que el vino esté listo para su posterior envejecimiento o embotellado.[26].

V-G. Envejecimiento

Esta fase de la vinificación que permite al vino desarrollar su complejidad aromática, mejorar su estructura y suavizar su perfil tánico. Durante el envejecimiento, el vino experimenta una serie de transformaciones químicas y físicas que lo preparan para su consumo, mejorando sus características sensoriales y aumentando su valor en el mercado. Existen dos tipos principales de envejecimiento: en bodega y en botella. El envejecimiento en bodega, generalmente de roble, introduce al vino compuestos como taninos, lignina, y vainillina, que contribuyen a su sabor, aroma y textura. Este proceso también permite una microoxigenación que estabiliza el color y redondea los taninos. Es recomendable seleccionar cuidadosamente el tipo de bodega en función del perfil de vino deseado, considerando factores como el tipo de roble (francés, americano, etc.), el nivel de tostado y la capacidad de la bodega. El monitoreo regular del vino durante el envejecimiento en bodega es esencial para evitar la sobreextracción de compuestos de la madera, que podría resultar en un vino desequilibrado. Por otro lado, el envejecimiento en botella se realiza en condiciones controladas de temperatura y humedad, permitiendo una lenta evolución del vino a través de la integración de sus componentes, la reducción de su astringencia, y el desarrollo de aromas terciarios complejos. Se recomienda almacenar las botellas horizontalmente para mantener el corcho húmedo y evitar la entrada de oxígeno, que podría oxidar el vino. La duración del envejecimiento varía según el tipo de vino y el estilo deseado; por lo tanto, es fundamental realizar catas regulares para determinar el momento óptimo para su comercialización. En resumen, el envejecimiento es una fase que define en gran medida la personalidad y calidad del vino, transformándolo en un producto más complejo y equilibrado, siempre y cuando se realice con las prácticas recomendadas.[27].



Figura 5. Bodegas de barricas [28].

V-H. Conservación del Vino

Varios factores afectan la estabilidad del vino, como lo puede ser temperatura, la luz, la humedad y la exposición al oxígeno. El manejo correcto de estos factores es importante para evitar la degradación del vino y garantizar la conservación de sus propiedades sensoriales y químicas durante el paso del tiempo. La mayoría de vinos se conservan mejor a una temperatura entre 12°C y 16°C. Temperaturas más altas pueden acelerar el envejecimiento del vino y causar oxidación, mientras que las fluctuaciones térmicas pueden causar la expansión y contracción del líquido, lo que podría llevar a la entrada de oxígeno en la botella. En esta etapa las bodegas o cavas son las que se destacan en el control térmico para garantizar la estabilidad del entorno. El nivel de humedad entre 60 % y 70 % es ideal para evitar que el corcho se seque y permita la entrada de oxígeno, lo que podría oxidar el vino. Por lo tanto, es recomendable controlar la humedad relativa en las áreas de almacenamiento. La exposición a la luz, especialmente la luz solar y la luz fluorescente, puede degradar ciertos compuestos del vino, como los fenoles, lo que lleva a la pérdida de color y la aparición de sabores indeseados. Por esta razón, el vino debe almacenarse en lugares oscuros o en botellas de vidrio coloreado que bloqueen la luz. La recomendación es evitar el almacenamiento en áreas expuestas a la luz directa y utilizar fuentes de iluminación que minimicen la emisión de rayos UV. Aparte el control del oxígeno es crucial para evitar la oxidación, que puede arruinar el sabor y aroma del vino. El vino en botellas debe almacenarse de manera horizontal para que pueda tener el corcho húmedo y que no permita la entrada de oxígeno[29].

V-I. Método de Almacenamiento

El objetivo del almacenamiento adecuado es mantener la calidad del vino y, en algunos casos, permitir que se desarrolle favorablemente durante el tiempo. Los métodos pueden variar según el tipo de vino y las expectativas del envejecimiento. Tradicionalmente, las bodegas subterráneas han sido el método preferido para almacenar vinos debido a su suficiencia para estabilizar las condiciones de temperatura y humedad constantes. Estas bodegas ofrecen un entorno natural ideal para la conservación a largo plazo del vino, ya que están aisladas de las fluctuaciones térmicas y la luz. Las cavas de vino eléctricas son una excelente opción para almacenar vino en casa si no tiene una bodega subterránea. Estas unidades protegen el vino de los cambios ambientales manteniendo una temperatura y humedad controladas. Las barricas de roble permiten la microoxigenación, que mejora la complejidad y la estructura del vino, tanto para el envejecimiento como para el almacenamiento a corto y medio plazo. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento en bodega requiere un seguimiento constante, ya que el vino puede oxidarse si se deja demasiado tiempo allí. [30]

V-J. Economía del Vino y su Impacto

La industria del vino es crucial para la generación de empleo en el sector vitivinícola, creando puestos de trabajo en en cada una de las fases de producción en la vinificación, desde la vinificación hasta la comercialización. La industria del vino tiene un impacto en la cantidad de puestos de trabajo y la calidad de estos. En muchas regiones, las actividades relacionadas con el vino ayudan a mejorar el nivel de vida de las comunidades locales proporcionando empleos estables y bien remunerados. Al atraer a visitantes y fomentar el desarrollo de infraestructuras como hoteles, restaurantes y otros servicios turísticos, el turismo enológico, que incluye visitas a bodegas, catas de vino y eventos similares, también ayuda a la economía local. La exportación de vino y la atracción de inversiones de infraestructura y tecnología actual impulsan con frecuencia un crecimiento económico sostenido en las zonas con una fuerte tradición vitivinícola. Los vinos de alta gama que gozan de reconocimiento y demanda en mercados extranjeros pueden agregar valor significativo al mercado internacional. Además, las inversiones en la industria vinícola, como la modernización de las bodegas y la adopción de nuevas tecnologías, pueden tener un impacto multiplicador en la economía regional, estimulando otros sectores.[31].

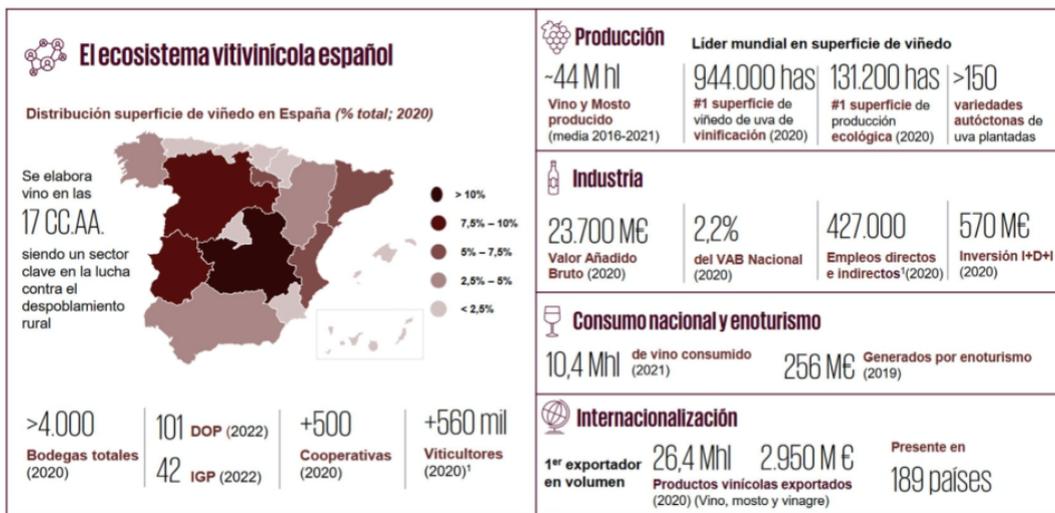


Figura 6. Panorama del Ecosistema Vitivinícola [32].

VI. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se llevará a cabo mediante una metodología estructurada en varias fases, utilizando herramientas avanzadas como SolidWorks, MATLAB, LabVIEW y Flexsim. La metodología está dividida en las siguientes etapas. El proyecto se basa en la creación de modelos en 3D de cada componente, incluyendo maceradora, tolva y la despalladora. La simulación de las condiciones operativas para evaluar la durabilidad y eficiencia mecánica de los componentes diseñados para su correcta función. Es necesario definir los requisitos funcionales y técnicos del sistema de automatización, incluyendo tipos de sensores (temperatura, presión) y actuadores (motores, válvulas). Desarrollo del esquema de la red, seleccionando los sensores y actuadores adecuados para verificar la temperatura, humedad del mosto. La programación de controladores lógicos programables (PLC) y desarrollo de algoritmos de control en MATLAB y LabVIEW para gestionar la operación automatizada de la maceración. La simulación del sistema automatizado en un entorno virtual en la cual pueda optimizar el desempeño antes de una implementación física, utilizando MATLAB y LabVIEW para pruebas de funcionalidad y ajuste de parámetros y variables. Estimación de los costos de adquisición de materiales, componentes, y mano de obra necesaria para implementar el sistema automatizado. Evaluación de los costos operativos en comparación con los métodos tradicionales de maceración, considerando factores como consumo de energía, mantenimiento, y mano de obra. Se procederá con el análisis de los beneficios potenciales en términos de aumento de producción, mejora de la calidad del vino, y reducción de desperdicios. Se realizan estudios de caso en bodegas de mediana producción para validar la viabilidad económica y técnica del sistema automatizado.

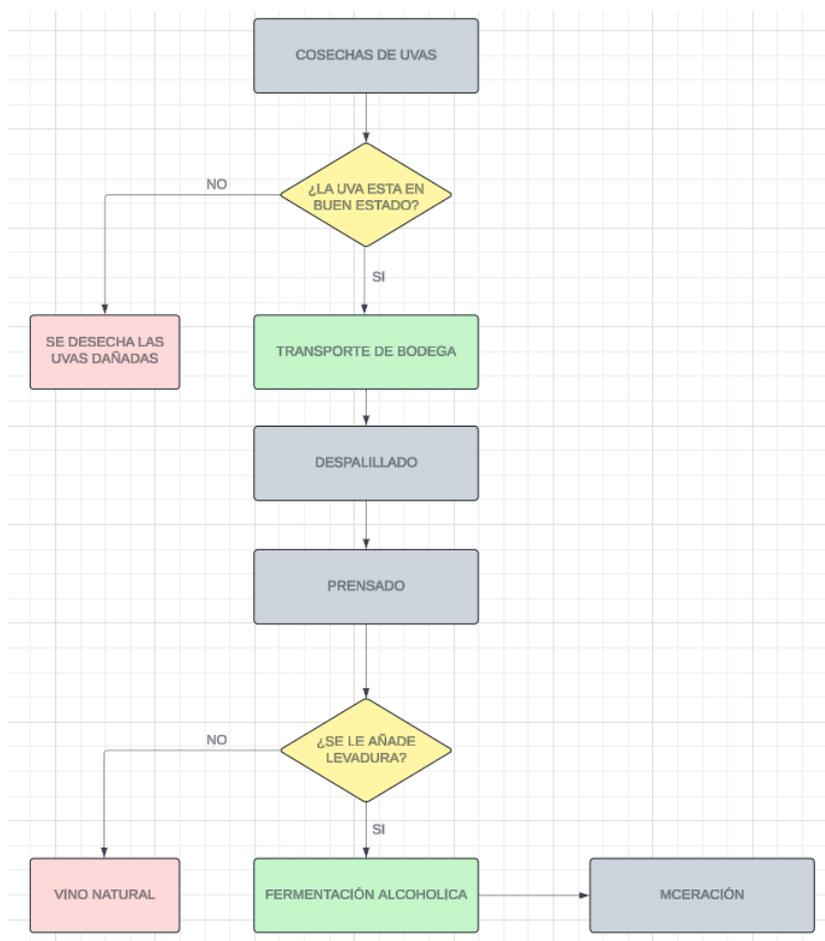


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de vino hasta la maceración carbónica. Fuente: Los autores

VII. DISEÑO DE LA PLANTA

VII-A. Modelado y Simulación del Layout en FlexSim

Para el diseño de nuestra planta vitivinícola, es trascendental no solo planificar cuidadosamente el layout, sino también prever cómo fluirán los materiales y cómo interactuarán las diferentes áreas de producción. Para esta tarea, FlexSim se presenta como una herramienta ideal por su capacidad de modelar, analizar y optimizar sistemas de producción complejos. La simulación mediante herramientas como FlexSim permite modelar y optimizar instalaciones de producción, ofreciendo una representación precisa y eficiente del flujo de trabajo en sistemas complejos sin alguna ayuda sobre un detalle excesivo que aumente la complejidad como también el tiempo de simulación[33]. FlexSim fue seleccionado para esta tesis por varias razones. Como primer punto, por su capacidad para proporcionar una representación visual detallada del layout o simulación de la planta que facilita una buena comprensión sobre el flujo y el área de trabajo. En una industria como la viticultura, donde la coordinación entre las distintas etapas del proceso es clave, FlexSim nos ayuda a identificar cuellos de botella, redundancias y oportunidades de mejora antes de realizar cualquier cambio físico en la planta. Además, el uso de FlexSim en el diseño y simulación de plantas industriales facilita la toma de decisiones informadas al equilibrar la fidelidad del modelo con la eficiencia computacional, asegurando que el sistema simulado refleje adecuadamente las condiciones reales de operación [33]. Además, FlexSim es una plataforma muy buena para realizar pruebas virtuales y optimizaciones, lo que nos permite ajustar y perfeccionar el layout de la planta en un entorno simulado. Esto no solo ahorra tiempo y reduce costos, sino que también minimiza el riesgo de errores durante la implementación. La herramienta también permite realizar análisis comparativos entre diferentes configuraciones del layout, apoyando la toma de decisiones informadas y estratégicas.

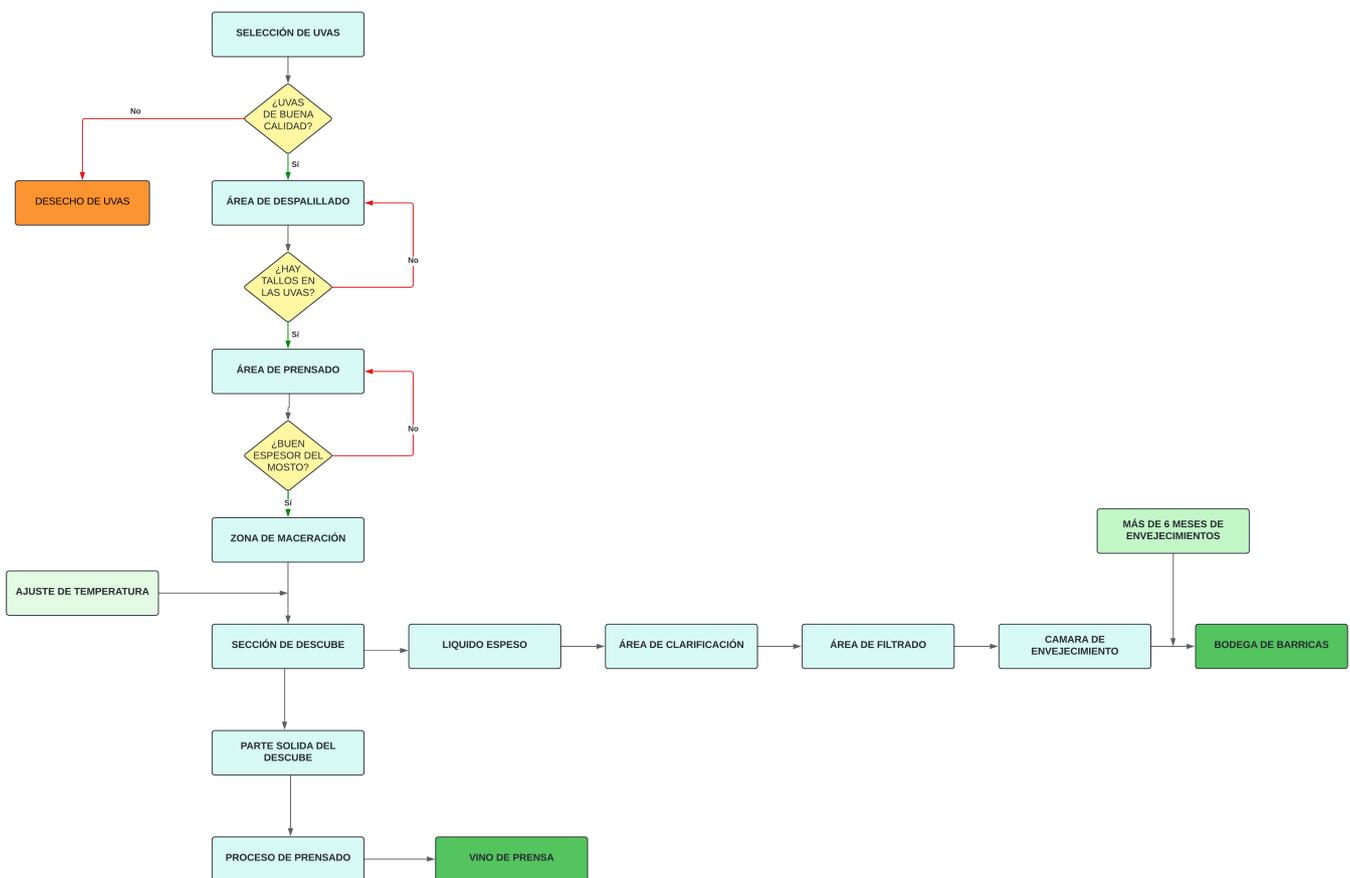


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de vino hasta la bodega de barricas.Fuente:Los autores

En esta sección, presentaremos cada parte del prototipo de nuestro diseño de una planta de elaboración de vino, utilizando la simulación realizada en FlexSim para poder representar cómo se ha modelado y optimizado cada etapa del proceso. Este análisis no solo abarca hasta la zona de maceración, que es crucial en la elaboración del vino, sino que se extiende hasta la conclusión del proceso, cubriendo tanto la bodega de barricas como la zona de carga y descarga, donde el producto final es preparado para su envío a fabricas embotelladoras. Las secciones que se explorarán incluyen desde la sección de uvas, donde comienza el proceso, pasando por el área de despalillado y área de prensado, hasta llegar a la zona de maceración. Posteriormente, se analizarán las etapas finales del proceso, como la sección de descube, área de clarificación, área de filtrado, y la cámara de envejecimiento. Finalmente, se concluirá con la bodega de barricas y la zona de carga, donde el vino es preparado para ser enviado a las fábricas embotelladoras.

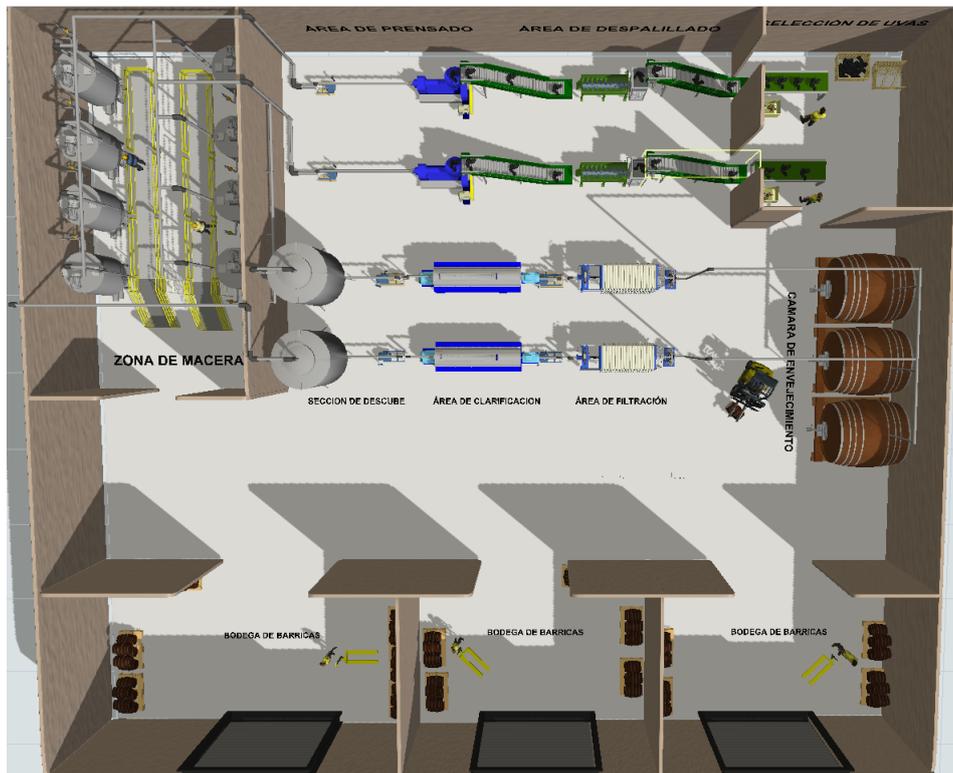


Figura 9. Perspectiva superior del prototipo de una planta de elaboración de vino
Fuente: Los autores

VII-B. Selección de uvas

El proceso de elaboración de vino comienza con la selección de uvas, una etapa crucial para garantizar la calidad del producto final. En esta fase, las uvas recién cosechadas son transportadas a la sección de selección, donde se lleva a cabo una inspección minuciosa para asegurar que solo las uvas en perfecto estado continúen en el proceso. El objetivo principal de esta etapa es eliminar cualquier uva que esté dañada, podrida o que no cumpla con los estándares de calidad requeridos. Para ello, se emplea una combinación de inspección manual y mecánica. Las uvas pasan por una cinta transportadora, donde los operarios realizan la selección visual y manual, separando aquellas que no cumplen con los criterios establecidos. Las uvas rechazadas son depositadas en contenedores de desecho, mientras que las uvas seleccionadas pasan a la siguiente fase del proceso, el despalillado. Esta etapa es esencial no solo para garantizar la calidad del vino, sino también para evitar que uvas defectuosas introduzcan sabores indeseables o problemas en las etapas posteriores del proceso, como la fermentación.



Figura 10. Proceso de Inspección y Selección Inicial de Uvas
Fuente: Los autores

VII-C. Área de Despalillado

Una vez que las uvas han pasado por la fase de selección, las que cumplen con los estándares de calidad se dirigen al área de despalillado. Este proceso es muy importante para eliminar los raspones o tallos de los racimos de uvas, ya que estos pueden darles toques de sabores amargos o indeseables al vino si no se retiran. En esta sección, las uvas son trasladadas a una máquina despalilladora a través de cintas transportadoras. La despalilladora está diseñada para separar los granos de uva de los tallos mediante un sistema de tamizado y rotación. Los tallos, una vez separados, son automáticamente descartados en contenedores específicos, mientras que las uvas despalilladas continúan su camino hacia la siguiente etapa del proceso, el prensado. El despalillado es una etapa esencial para la producción de vinos de alta calidad, especialmente para poder brindar un sabor más limpio y refinado. En esta simulación realizada con FlexSim, se optimizó esta área para asegurar que el proceso de despalillado sea eficiente y que se minimicen las pérdidas de material. La velocidad de las cintas transportadoras y la eficiencia de la máquina despalilladora se han ajustado para garantizar que todas las uvas pasen por este proceso sin interrupciones y que la producción se mantenga fluida.



Figura 11. Proceso de Separación de Uvas y Tallos
Fuente: Los autores

VII-D. Selección de la Despalilladora: Control de Velocidad Variable

En el diseño de la planta de elaboración de vino, la elección de la maquinaria adecuada para cada etapa es de suma importancia para poder optimizar tanto los costos operativos como la calidad del producto final haciendo referencia a nuestro objetivo de bajo costo. En el caso del área de despallado, una opción altamente eficiente y económicamente viable es la despalilladora con control de velocidad variable. Este tipo de despalilladora está diseñada para permitir ajustes en la velocidad de rotación del tambor y las paletas, lo que proporciona un control preciso sobre el proceso de despallado. Al poder adaptar la velocidad a las características específicas de cada lote de uvas, se logra una separación eficiente de los tallos, minimizando el riesgo de dañar los granos de uva. Esto es especialmente importante para mantener la integridad de las uvas antes de su paso a la fase de prensado, lo que a su vez influye directamente en la calidad del vino producido.

VII-D1. Beneficios de la Despalilladora con Control de Velocidad Variable:

- **Optimización de Costos**

Aunque este tipo de despalilladora puede tener un costo inicial moderado, su capacidad para ajustar la velocidad de operación permite una optimización del proceso que reduce el desperdicio de materia prima y minimiza el tiempo de inactividad. A largo plazo, esta eficiencia se traduce en ahorros significativos en los costos operativos.

- **Versatilidad y Flexibilidad**

La capacidad de ajustar la velocidad permite que la máquina se adapte a diferentes tipos y condiciones de uvas, lo que la hace adecuada para una variedad de perfiles de vino. Esto elimina la necesidad de múltiples máquinas o de ajustes manuales constantes, lo que reduce aún más los costos y la complejidad operativa.

- **Mantenimiento y Durabilidad**

Este tipo de despalilladora está diseñada para ser fácil de mantener, con componentes accesibles que no requieren paradas prolongadas para su mantenimiento. Esto reduce los costos asociados con el mantenimiento y asegura una mayor durabilidad de la máquina, maximizando su retorno de inversión.

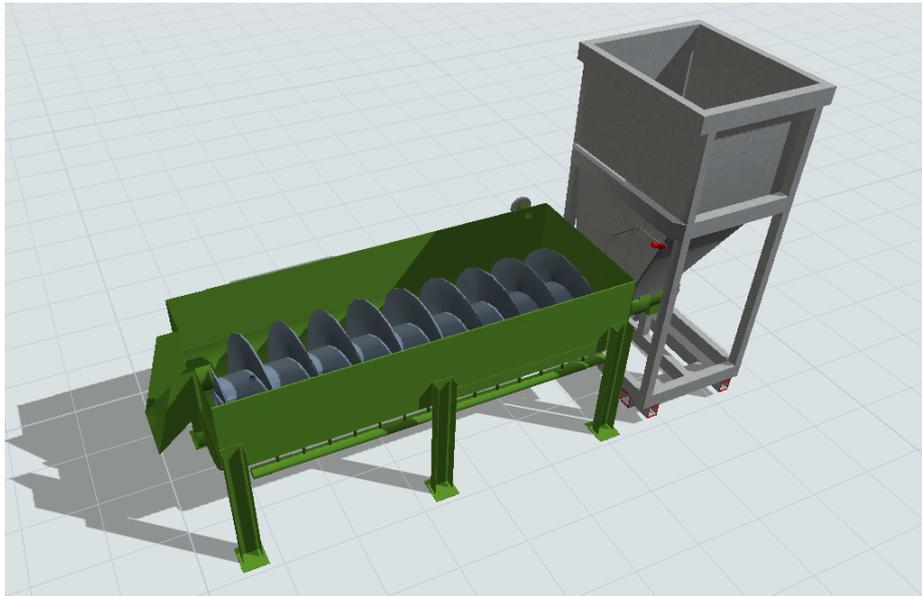


Figura 12. Despalilladora con control de velocidad variable
Fuente: Los autores

■ Alta Calidad en los Productos

Al poder controlar el proceso de despalillado, se evita el daño excesivo a las uvas, lo que resulta en un mosto de mejor calidad y, por ende, un vino de mayor calidad. Este control también permite una mejor gestión del tiempo de proceso, optimizando el flujo de trabajo en la planta. Modificar la velocidad de rotación de los batidores en la despalilladora influye de manera notable en la cantidad de bayas que se separan, lo que nos indica la necesidad de un control preciso en esta etapa del proceso para preservar la integridad de las uvas y garantizar la calidad del vino[34].

VII-E. Área de Prensado

El proceso de prensado en la elaboración del vino es una de las etapas igual e incluso más importantes que las etapas anteriores, ya que determina la cantidad de jugo extraído de las uvas y, en gran medida, la calidad del mosto que servirá para la maceración como de la fermentación. En este prototipo, la elección de la maquinaria adecuada y la configuración de los parámetros de operación son esenciales para maximizar la eficiencia y mantener la integridad del producto. En la planta de producción, el prensado debe ser lo suficientemente eficiente como para extraer la mayor cantidad de jugo posible sin aplastar excesivamente las semillas o romper las pieles de las uvas, ya que esto podría liberar compuestos no deseados que afecten el sabor y la calidad del vino. Por lo tanto, la cuidadosa elección de una prensa de última tecnología, que permita un control preciso de la presión aplicada, es fundamental pero también tomando en cuenta el precio, costos y eficiencia.

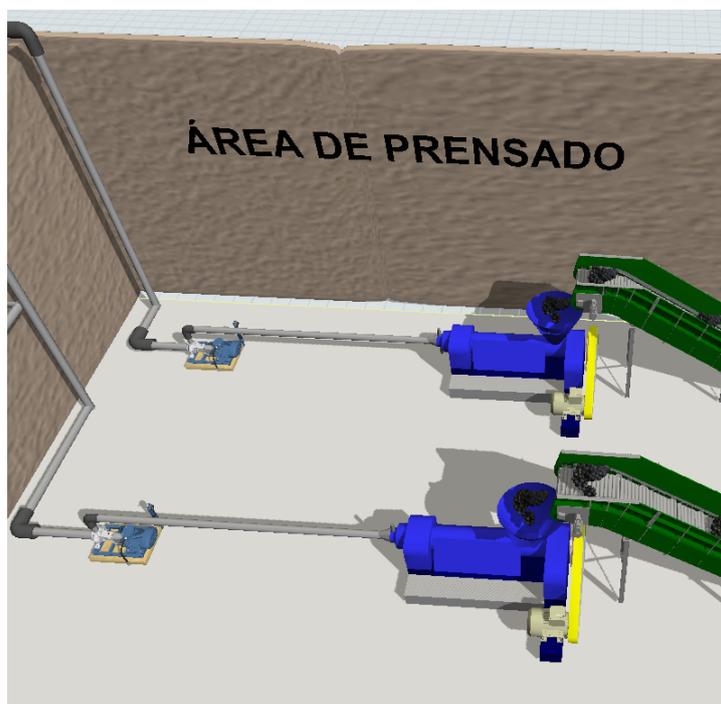


Figura 13. Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino
Fuente: Los autores

VII-F. Prensa Neumática en el Proceso de Prensado

En la elaboración de vino, la elección de la maquinaria adecuada en cada etapa del proceso es fundamental para garantizar la calidad del producto final. En especial, el proceso de prensado, hemos decidido optar por una prensa neumática en la sección de prensa, a pesar de su costo inicial elevado. La prensa neumática discontinua que es la que seleccionamos en tanque cerrado es actualmente una de las máquinas más utilizada en la producción de vino de calidad, permitiendo un control preciso sobre la presión aplicada durante el proceso de prensado[35]. La razón principal para esta elección es que, aunque la inversión es significativa, los beneficios que ofrece a largo plazo superan con creces este costo. La prensa neumática se distingue por su capacidad de aplicar una presión gradual y controlada sobre las uvas, lo que permite extraer el jugo sin la necesidad de dañar las semillas ni romper las pieles de las uvas despalladas. Este control preciso es excelente para obtener un mosto de alta calidad, que es la base para producir un vino con características superiores. A diferencia de otros tipos de prensas, como las prensas de cesta o las continuas, la prensa neumática minimiza la extracción de taninos agresivos y compuestos amargos, lo que resulta en un mosto mucho más puro y equilibrado a comparación de otros resultados de otras prensas.

VII-F1. Beneficios del Uso de la Prensa Neumática para el Mosto: Alta calidad del Mosto: Al aplicar una presión suave y controlada, la prensa neumática asegura que el mosto obtenido tenga una menor cantidad de compuestos no deseados, como taninos excesivos y amargor, lo que contribuye a un vino más suave y balanceado. La prensa neumática se le puede agregar un sistema de recuperación de nitrógeno con esto permite obtener mostos con un sabor mucho más aromático y más definido. Menor Contenido de Sólidos: La capacidad de ajustar la presión permite evitar la ruptura de las semillas, lo que reduce la liberación de sólidos en suspensión en el mosto. Esto facilita los procesos posteriores de clarificación y filtrado. Un mayor Rendimiento: Aunque la prensa neumática es una inversión considerable, su eficiencia en la extracción de jugo es superior, lo que maximiza el rendimiento y reduce las pérdidas de materia prima. Versatilidad y Adaptabilidad: Este tipo de prensa es altamente adaptable a diferentes tipos de uvas y condiciones de cosecha, lo que permite ajustar el proceso de prensado para cada lote específico, optimizando así la calidad del mosto en cada producción

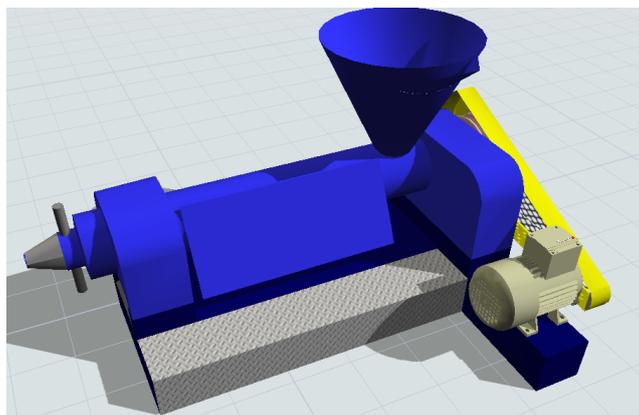


Figura 14. Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino
Fuente: Los autores

VII-G. Maceración

El proceso de maceración comienza de manera inmediata después del proceso de prensado anteriormente explicado, cuando las pieles de las uvas permanecen en contacto con el jugo en grandes tanques. Durante este tiempo, se produce la extracción de antocianos los cuales son responsables del color y taninos que aportan estructura y longevidad al vino desde las pieles hacia el mosto. La duración y las condiciones de la maceración son variables clave que pueden ajustarse dependiendo del tipo de vino que se desea producir. En los vinos tintos, la maceración suele ser más prolongada para maximizar la extracción de color y taninos, mientras que en los vinos blancos, la maceración es más corta o, en algunos casos, omitida por completo para producir un vino más fresco y ligero. En este sentido, la maceración también puede ser influenciada por factores como la temperatura y la adición de compuestos específicos que pueden acelerar o ralentizar el proceso. Como resumen tenemos que el proceso de maceración juega un papel crucial en la extracción de compuestos fenólicos como también aromáticos desde la piel de las uvas hacia el vino, y estos compuestos pueden metabolizarse durante la etapa de fermentación como también de la etapa de envejecimiento[36].

VII-G1. Control de temperatura en la Maceración: El control de la temperatura durante la maceración es fundamental para obtener un mosto de calidad. Temperaturas más altas aceleran la extracción de compuestos, lo que puede ser beneficioso para ciertos tipos de vinos tintos robustos, mientras que temperaturas más bajas se utilizan para preservar los aromas delicados y limitar la extracción de taninos en vinos más ligeros. En el área de maceración de la planta, se utilizan tanques equipados con camisas de refrigeración para mantener una temperatura constante y controlada, lo que es esencial para evitar una fermentación excesivamente vigorosa que podría dañar los compuestos volátiles deseados. El sistema de control de temperatura permite realizar ajustes precisos para asegurar que la maceración se realice en condiciones óptimas, adaptándose a las necesidades específicas de cada tipo de uva y estilo de vino.

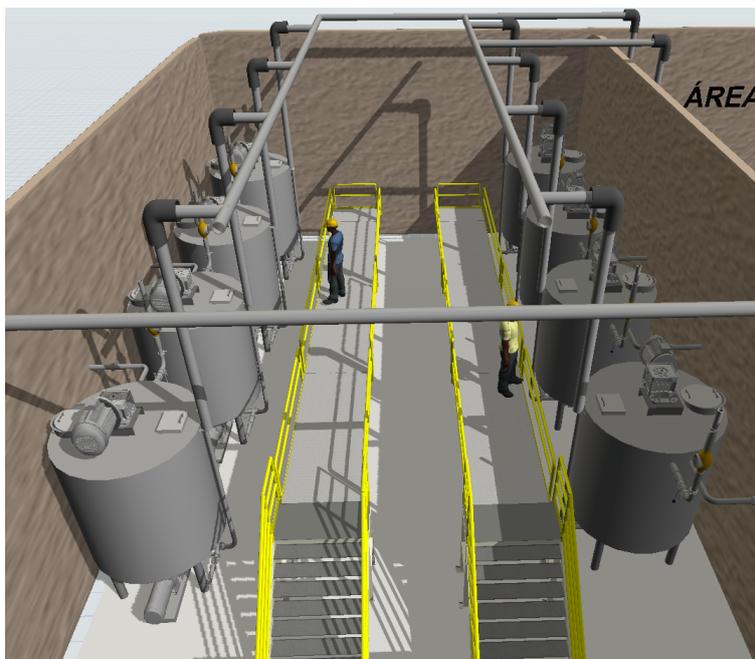


Figura 15. Proceso de Prensado Controlado en la Elaboración de Vino
Fuente: Los autores

VII-H. Tanque de Acero Inoxidable para la Maceración

En el caso del área de maceración, hemos optado por utilizar tanques de acero inoxidable, esta decisión responde a múltiples factores relacionados con el control del proceso y por ende su automatización como también se hace énfasis en la durabilidad del equipo, y la optimización de costos a largo plazo. Estos tanques de acero inoxidable son popularmente conocidos por su capacidad de mantener un control preciso de la temperatura durante todo el proceso de maceración, esto nos permite obtener una extracción óptima de los compuestos fenólicos y aromáticos que se encuentran en las uvas. otra ventaja sobre los tanques de acero inoxidable es que es un material extremadamente resistente a la corrosión, lo que lo convierte en una inversión a largo plazo muy efectiva ya que su durabilidad reduce la necesidad de reemplazo o reparación frecuente, lo que a su vez disminuye los costos operativos. Aunque el costo inicial de los tanques de acero inoxidable son muy elevado en comparación con otros materiales, su durabilidad y facilidad de mantenimiento resultan en modelos sumamente eficientes para este proceso tan importante como es la maceración. La necesidad de menos reparaciones y su larga vida útil compensan el costo inicial, convirtiendo estos tanques en una opción económicamente eficiente para bodegas que buscan mantener altos estándares de calidad pero a la vez con presupuestos medios.

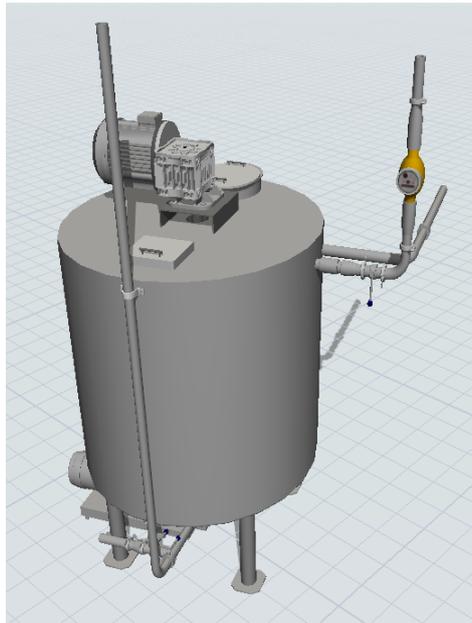


Figura 16. Tanque de Acero Inoxidable para Maceración Controlada
Fuente: Los autores

VII-I. Sección de descube

El descube es el proceso en el que se retira el vino de la parte sólida del mosto fermentado, este es conocido como orujo. este es otro proceso fundamental para asegurar que el vino no adquiera sabores indeseados que podrían generarse si el contacto con los sólidos se alarga más de lo necesario. Durante la parte de la fermentación en la sección de la maceración, las uvas se transforman en alcohol, y el vino resultante se encuentra mezclado con las partes sólidas de las uvas. El objetivo de este proceso es separar el vino semi limpio de estos sólidos para continuar con las siguientes etapas de clarificación y envejecimiento para poder limpiar de manera óptima el vino en su etapa final.

VII-II. Proceso de Descube: El proceso comienza con el trasiego del vino después de la etapa de maceración, que implica el trasvasado del mosto, dejando atrás la mayor cantidad posible de sólidos. Este proceso se realiza por gravedad o utilizando bombas de baja velocidad para evitar que se oxigene el vino, asegurando así la preservación de sus cualidades como el sabor, color y olor. Posteriormente, se presionan los restos de orujo para extraer el vino residual, que suele tener un carácter más robusto y puede mezclarse con el vino principal o ser tratado por separado. Finalmente, se limpia el tanque de manera profesional para prepararlo para el siguiente lote, lo cual es fundamental para así poder evitar contaminaciones cruzadas y asegurar la calidad del líquido fermentado. El descube es esencial para evitar la extracción de sabores indeseados, iniciar el proceso de clarificación y preparar el vino para su envejecimiento en condiciones óptimas.

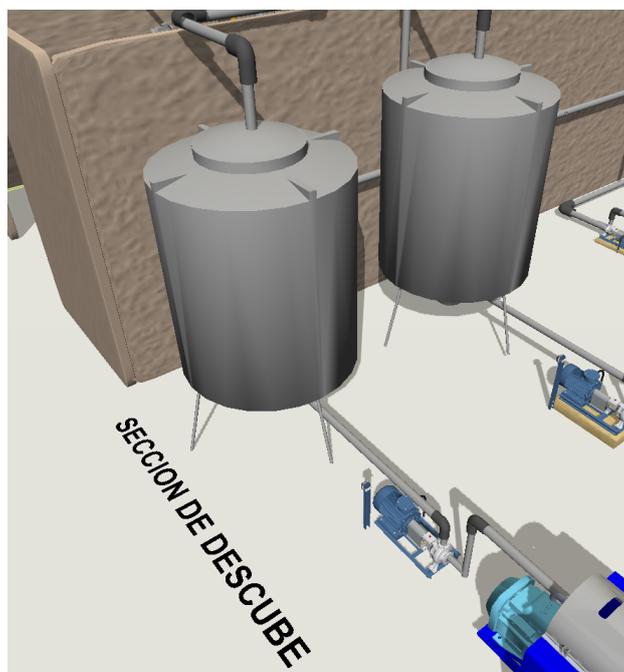


Figura 17. Tanque de Descube
Fuente: Los autores

VII-J. Área de Clarificación

La clarificación en esta sección tiene como objetivo eliminar la mayor cantidad de partículas en suspensión que pueden afectar la apariencia, la estabilidad y el sabor del vino, ya que estas partículas incluyen levaduras, proteínas, taninos, y otros sólidos finos que se encuentran en el vino después de la fermentación y el descube, promoviendo la baja de calidad del vino final.

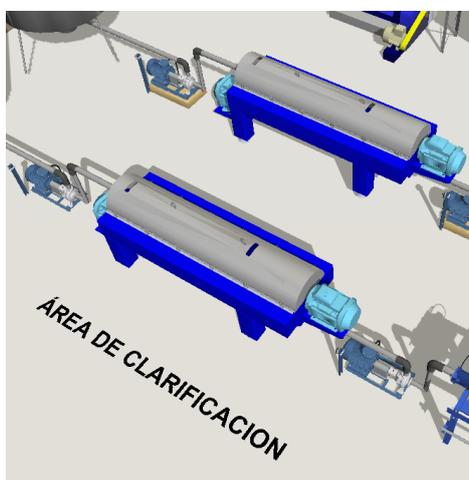


Figura 18. Área de Clarificación
Fuente: Los autores

VII-JI. *Método con bentonina:* En el área de clarificación en una bodega está diseñada para poder realizar este proceso de una forma controlada para si poder lograr la mayor eliminación de sustancias no deseadas. La clarificación puede lograrse mediante diferentes métodos, Pero el método que escogimos para este prototipo fue

por uso de clarificantes. Este método de clarificación con bentonita es ampliamente utilizado en distintos tipos de bodegas de elaboración de vino debido a su eficacia para eliminar impurezas y clarificar el producto final. Esta sustancia la cual es la bentonita es una arcilla natural que tiene la propiedad de absorber proteínas y otras partículas en suspensión que pueden causar turbidez en el vino. Cuando este proceso se usa correctamente, la bentonita puede minimizar la pérdida de compuestos aromáticos importantes, lo que resulta en un vino con mejor calidad y por ende un mejor sabor. Usar bentonita mientras el vino se fermenta ha mostrado que puede reducir los efectos negativos de la clarificación común o de manera tradicional que se hace antes de embotellar, además de que ayuda a percibir y mejorar el aroma y sabor del vino[37]. Aunque es un proceso de mucho tiempo, el uso de este método puede ser más económico y eficiente comparado con otros métodos de clarificación, especialmente cuando se aplica después del descube.

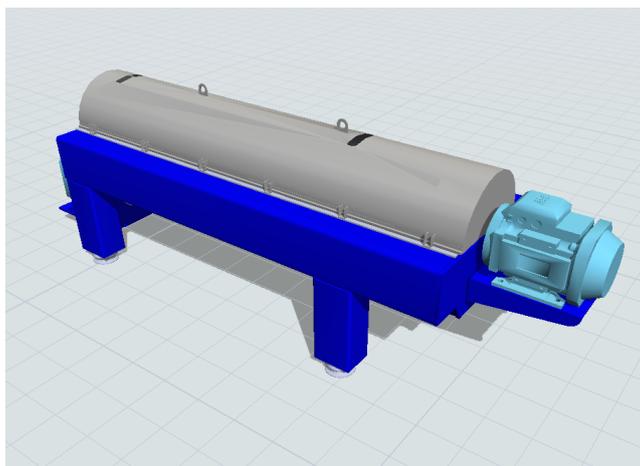


Figura 19. Tanque de Procesamiento de Clarificación
Fuente: Los autores

VII-K. Área de filtración

El área de filtrado es otra de las etapas igual de importantes para la elaboración de vinos, esta es la sección final de procesados, donde se eliminan las partículas finas restantes que no fueron removidas durante la clarificación. Este proceso nos permite hacer que el vino sea claro, estable y libre de sedimentos antes de su embotellado. El objetivo principal del filtrado es mejorar la claridad, espesor, como estabilidad del vino, de esta forma garantizando que no haya turbidez ni sedimentos que puedan afectar su apariencia y calidad. Este proceso de filtrado no solo nos permite hacer más claro el vino sino también puede ayudar a eliminar microorganismos como levaduras y bacterias, reduciendo así el riesgo de fermentación en botella y mejorando la estabilidad microbiológica de nuestro vino.

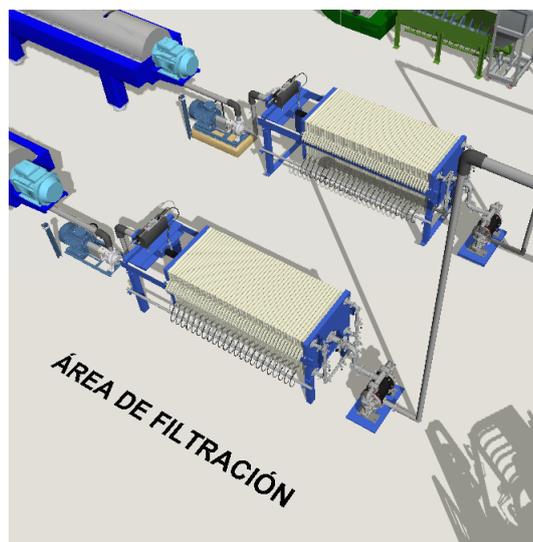


Figura 20. Área de filtración
Fuente: Los autores

VII-K1. Filtración de Placas: La filtración de placas es un método muy utilizado en la industria vinícola por su costo moderado, eficiencia y calidad de vino. Este método implica el paso del vino a través de placas sobre materiales filtrantes, generalmente hechas de celulosa, que están dispuestas en un marco. Estas placas nos ayudan a actuar como una barrera física que las cuales capturan las partículas en suspensión, incluidas las levaduras, bacterias y otros sólidos finos, permitiendo que el vino limpio pase al otro lado. Este método permite un nivel ajustable de la filtración, dependiendo del tipo de placas utilizadas. Las placas pueden variar en términos de porosidad, permitiendo desde una filtración gruesa hasta una microfiltración más fina. Estas placas filtrantes se pueden reemplazar fácilmente una vez que están demasiado llenas de partículas, lo que nos asegura un proceso continuo y eficiente. Aunque las placas requieren ser cambiadas de manera regular, el costo de estos reemplazos es relativamente bajo en comparación con los costos de otros métodos más avanzados. En comparación con otros métodos de filtración, como la filtración tangencial, la filtración de placas requiere un costo inicial y operativo más bajo. El equipo que se necesita para mantener ese proceso continuo es menos costoso y relativamente simple de operar, lo que significa que se necesita menos formación profesional para su manejo. Esto nos da como resultado en una reducción de costos tanto en la inversión inicial como en los costos operativos a largo plazo.

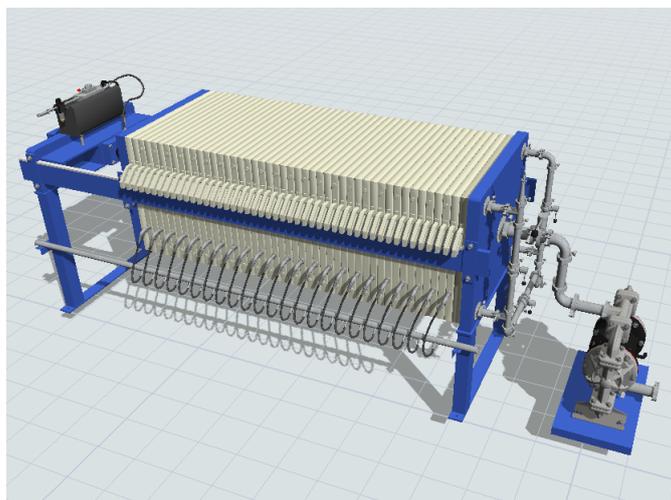


Figura 21. Sistema de Filtración por Placas
Fuente: Los autores

VII-L. Cámara de envejecimiento

La cámara de envejecimiento es una de las etapas finales en la producción de vino, donde el vino que se extrajo anteriormente de la filtradora se somete a un proceso de maduración controlada. Durante este tiempo en el cual madura el líquido, el vino desarrolla complejidad, suaviza sus taninos y adquiere aromas y sabores más profundos. Este proceso puede durar desde unos pocos meses hasta varios años, dependiendo del tipo de vino que se está produciendo y del perfil deseado. Esta cámara de envejecimiento, o bodega de maduración, está diseñada para proporcionar las condiciones óptimas de como temperatura, humedad y ventilación para que el vino madure de manera adecuada. Las condiciones controladas que se debe tener en esta cámara permiten que el vino evolucione, asegurando que las reacciones químicas y biológicas ocurran a un paso adecuado. Los vinos que envejecen en barricas nuevas como foudres tienden a mostrar niveles más elevados de compuestos fenólicos como el ácido elágico, lo que nos indica la importancia crucial de las barricas en la configuración del perfil fenólico y la complejidad a nivel general del vino. Este proceso no solo mejora la estructura del vino, sino que también añade profundidad y personalidad única, elementos esenciales para la apreciación de vinos de alta calidad[38].



Figura 22. Cámara de envejecimiento
Fuente: Los autores

VII-L1. Foudres: Los Foudres son grandes barriles de madera, generalmente de roble, que tienen una capacidad mucho mayor que las barricas metálicas estándar, típicamente entre 20 y 120 hectolitros. Gracias su inmenso tamaño, los foudres tienen una menor relación superficie-volumen en comparación con las barricas más pequeñas. Esto significa que el vino tiene un contacto mucho más suave con la madera, lo que permite una micro oxigenación más lenta y de manera controlada. Como resultado, el vino puede envejecer de manera más uniforme, desarrollando una mayor complejidad sin que los sabores de la madera dominen la calidad de nuestro vino. El costo de un foudre puede ser un poco mayor que el de una barrica estándar. Esto se debe tanto al mayor volumen de madera utilizado como a la complejidad de su fabricación también dependiendo la capacidad que se llegue a requerir de cada foudre. Sin embargo, cuando se consideran los beneficios a largo plazo, como la reducción de costos operativos y la capacidad de manejar grandes volúmenes de vino, los foudres pueden representar una inversión inteligente para bodegas que producen vinos de alta calidad en grandes cantidades.



Figura 23. Foudre
Fuente: Los autores

VII-M. Bodega de Barricas

La sala de barricas es el ambiente donde el vino envejece en contacto con la madera, para revelar su complejidad y carácter. El vino en la sala de barricas se guarda en distintos tipos de recipientes de madera, desde grandes foudres hasta pequeñas barricas, cada una de las cuales introduce diferentes cualidades en el vino. Los foudres son tanques de almacenamiento más grandes, típicamente de madera, con una capacidad que puede llegar a miles de litros, y que son responsables de proporcionar un envejecimiento más lento y suave que las barricas más pequeñas. El vino que se está envejeciendo en foudres típicamente se transfiere a barricas más pequeñas hacia el final del proceso con el fin de refinar los perfiles y las notas antes de ser embotellado. Un beneficio de las barricas más pequeñas es que son muy fáciles de manipular y mover. En comparación con los foudres, que son masivamente grandes y voluminosos, las barricas más pequeñas son muy manejables y se pueden transportar estrictamente de un lugar a otro, ya sea dentro de la bodega o fuera de ella. En el interior de la bodega, las barricas más pequeñas pueden ser fácilmente trasladadas con carretillas o montacargas, lo que da más libertad para los arreglos y reorganización del diseño del espacio de envejecimiento. Además, al usar barricas de menor tamaño, también se pueden usar otros tipos de madera y tostados con la intención de permitir seguir afinando el perfil del vino.

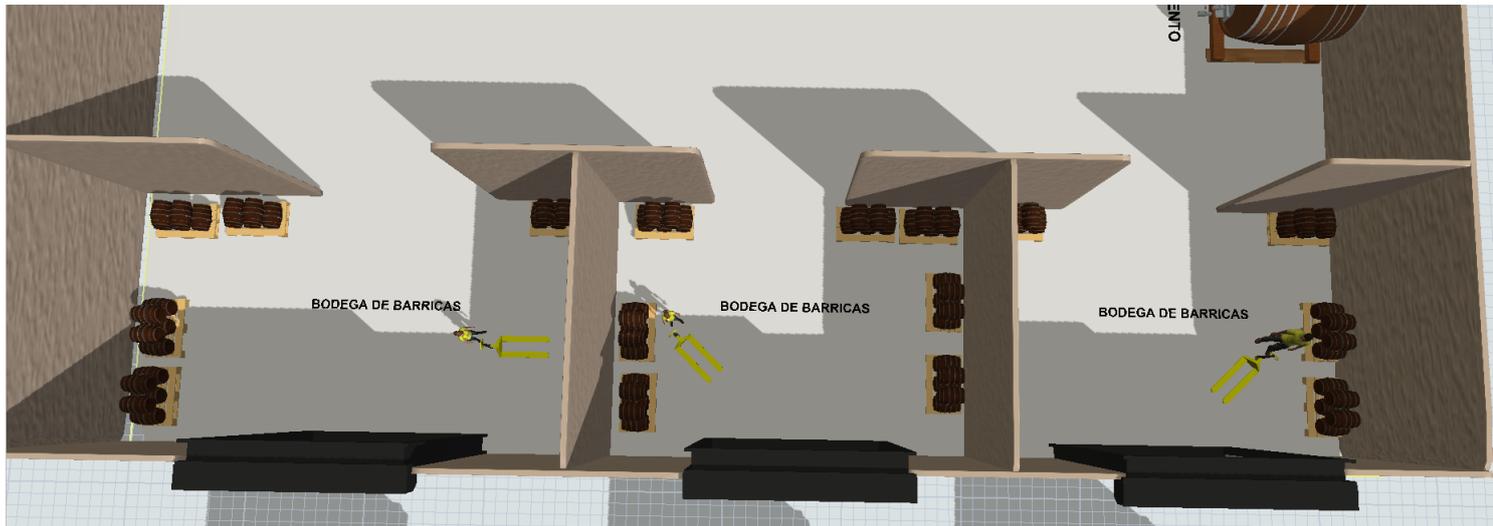


Figura 24. Sala de barricas
Fuente: Los autores

VII-N. Zona de carga y descarga

La zona de carga y descarga es un área clave en la planta de elaboración de vinos, donde se maneja la logística de entrada y salida de productos. En esta sección, se recibe la materia prima necesaria para la producción, como uvas y otros insumos, y se despachan los productos terminados, listos para su distribución. La eficiencia en esta área es importante para asegurar un flujo continuo y sin interrupciones en la operación de la bodega. Cualquier retraso o fallo en esta etapa puede tener severos problemas en todo el proceso de producción, afectando la calidad final del producto y los tiempos de entrega. uno de los procesos de la zona de carga y descarga son la recepción de Uvas y Materiales las cuales funcionan de esta manera, las uvas y otros insumos llegan a la planta a través de esta área, donde se descargan y transportan rápidamente a las etapas iniciales del proceso de vinificación. La correcta gestión en la recepción es vital para mantener la frescura de las uvas y la calidad de los insumos, factores que inciden directamente en el resultado final del vino. El otro proceso y por el ende el final es el despacho de Vino Embotellado el cual comienza por el vino, ya embotellado y etiquetado, se carga en camiones para su distribución. Este proceso debe ser ágil para garantizar que los productos lleguen a los mercados en el momento adecuado, respetando los plazos de entrega y manteniendo la cadena de suministro eficiente. Además, es fundamental que la zona de carga y descarga esté bien organizada, con un flujo de trabajo optimizado que permita manejar grandes volúmenes de productos sin generar cuellos de botella. El uso de tecnología avanzada, como sistemas de gestión de inventarios y transporte, puede mejorar aún más la eficiencia de esta área crítica en la producción de vino.

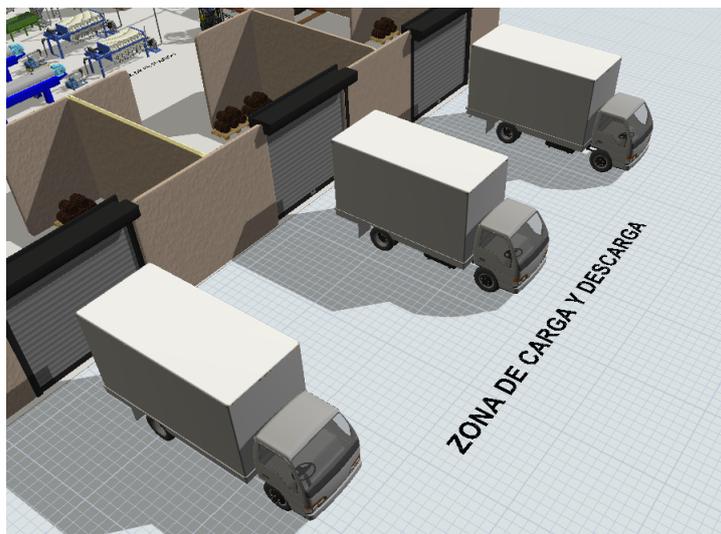


Figura 25. Camiones de carga y descarga de uvas y barricas. Fuente: Los autores

La zona de carga y descarga representa la última fase de este prototipo de planta, la cual se enfoca en una fábrica mediana de elaboración de vinos. Este diseño nos asegura un manejo eficiente desde la recepción de las uvas hasta el despacho del vino terminado, optimizando cada etapa para mantener la calidad del producto y la eficiencia relacionado a costos como gastos.

VII-Ñ. *Diseño de Estructuras Mecánicas en Solidworks*

El diseño mecánico de los equipos utilizados en la vinificación es crucial para asegurar la eficiencia y la calidad del proceso. Este apartado abarca el diseño de tres componentes esenciales en la producción de vino: la despalladora, el intercambiador de calor tipo Shell and Tube, y la máquina de macerado. Mediante modelos en 3D desarrollados en SolidWorks, un software de diseño asistido por computadora (CAD) ampliamente usado en la ingeniería mecánica y en diversas industrias para la creación de modelos en 3D, ensamblajes y planos técnicos. Esta herramienta permite a los ingenieros y diseñadores concebir y visualizar productos complejos antes de su fabricación, lo que facilita la creación de prototipos digitales detallados. Se han diseñado y analizado estos equipos, asegurando que cumplan con los requisitos funcionales y estructurales necesarios para su operación.[39]

VII-O. *Descripción y Análisis de Equipos*

La despalladora es una máquina utilizada en la vinificación para separar las uvas de sus tallos (o escobajos), lo cual es crucial para evitar la transferencia de sabores no deseados al vino. El diseño en SolidWorks muestra una estructura robusta con un tornillo sin fin que transporta las uvas hacia un área de procesamiento. Destacando sus componentes más importantes tenemos: su motor eléctrico, encargado de proporcionar la potencia necesaria para mover el tornillo sin fin, este mismo componente es responsable de mover las uvas a lo largo de la máquina, facilitando la separación de los tallos y por último la tolva de alimentación que permite la entrada de las uvas al sistema, asegurando una distribución uniforme para el procesamiento. Al momento del diseño optamos por una estructura robusta soportando cargas dinámicas generadas al momento del proceso. Para el diseño se comenzó dibujando los componentes principales de la máquina con SolidWorks. Esto incluye componentes estructurales como el bastidor, la tolva de alimentación, el canal por donde se desplaza el tornillo sin fin y la disposición del motor. Las relaciones y dimensiones importantes entre los componentes se describieron mediante un esbozo en dos dimensiones. La estructura que soporta el sistema se modeló para asegurarse de que los perfiles y placas sean lo suficientemente fuertes para soportar el peso y las vibraciones durante la operación. El tornillo sin fin se modeló considerando el paso del tornillo, el diámetro y el largo necesario para mover el material a través del canal. Este componente fue crucial y se optimizó para maximizar la eficiencia del transporte de material. La tolva, por donde ingresa el material al sistema, se diseñó para facilitar un flujo constante hacia el tornillo sin fin. Se consideró un

ángulo adecuado para evitar atascos. Para garantizar la velocidad y el torque necesarios para el funcionamiento del sinfín, se seleccionó un motor adecuado y se diseñó el sistema de transmisión, que podría consistir en poleas o acoplamientos.

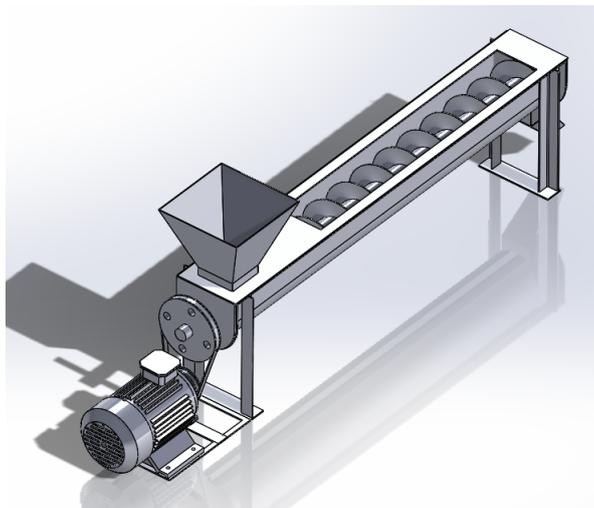


Figura 26. Despalilladora 3D. Fuente: Los autores

El intercambiador de calor tipo Shell and Tube es utilizado para controlar la temperatura del mosto durante la fermentación, asegurando condiciones óptimas para la actividad enzimática y la calidad del vino. Está conformado por: su carcasa la cual contiene los tubos y fluido de trabajo secundario, siendo crucial para la integridad del sistema, tuberías es por donde circula el fluido de trabajo primario. Son responsables de la transferencia de calor entre los dos fluidos y sus conexiones de entrada/salida permiten la entrada y salida de los fluidos, asegurando un flujo constante y eficiente.

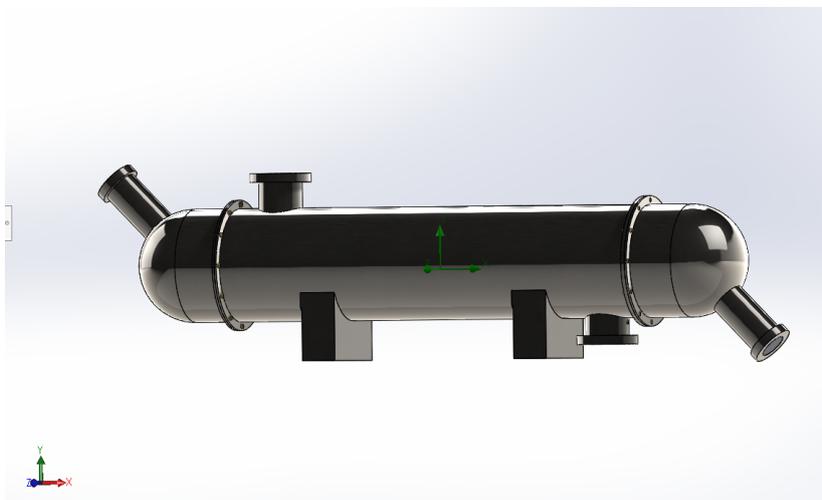


Figura 27. Shell and Tube. Fuente: Los autores
Fuente: Los autores

Para esta estructura, se llevó a cabo un análisis de fluidos con el fin de evaluar el flujo de agua a través de los tubos del intercambiador de calor con el fin de mantener una temperatura controlada. La distribución de la temperatura a lo largo del sistema fue identificada gracias a esta simulación, lo que garantiza un intercambio térmico eficiente y uniforme, que es esencial para que la estructura funcione correctamente. En la simulación, se aplicaron diferentes

velocidades de entrada del fluido y se establecieron condiciones de frontera adecuadas para representar el entorno de operación realista. Los resultados mostraron cómo la temperatura del agua se distribuye a lo largo de los tubos, con un gradiente térmico significativo que indica un intercambio eficiente de calor entre el fluido y las paredes del intercambiador. Este análisis es fundamental para garantizar que el diseño del intercambiador cumpla con los requisitos de transferencia de calor, asegurando así un rendimiento óptimo en su aplicación industrial.

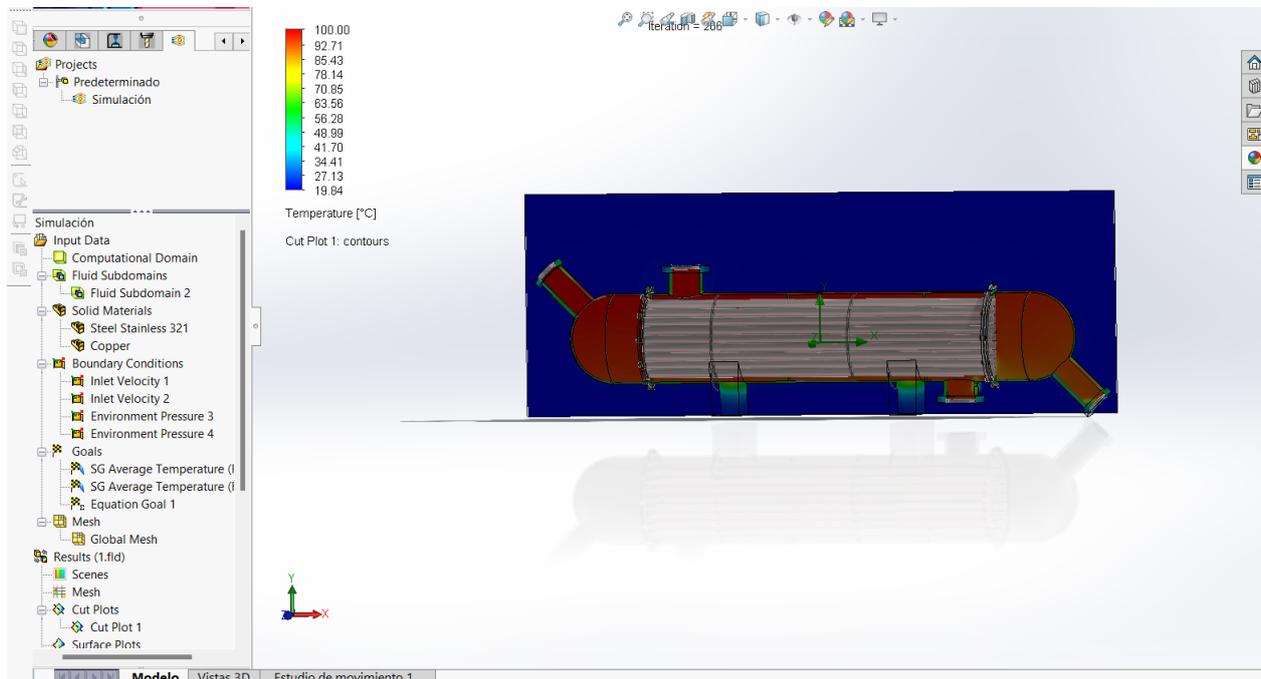


Figura 28. Análisis Shell and Tube. Fuente: Los autores

Fuente: Los autores

La máquina de macerado se utiliza para el proceso de maceración de las uvas, donde se extraen los taninos, antocianos y aromas esenciales para el vino. El diseño en SolidWorks incluye un tanque donde las uvas se almacenan y se someten a un proceso controlado de fermentación y extracción. Se compone de las siguientes partes: tanque de macerado es su contenedor principal donde ocurre la maceración. Debe ser resistente a la presión y a los productos químicos involucrados y sus válvulas controlan el flujo de la uva y el mosto, permitiendo un control preciso del proceso. Se realizó un análisis estático, utilizando una presión aproximada de $52,000 \text{ N/m}^2$. Aplicando la fuerza desde dentro hacia fuera simulando la presión del mosto y las uvas.

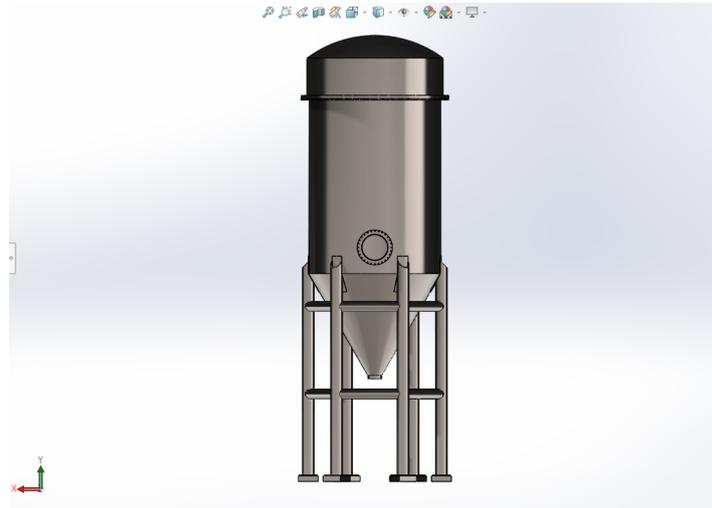


Figura 29. Tanque de Macerado 3D.Fuente: Los autores
Fuente: Los autores

Se realizo un análisis estático, utilizado una presión aproximada de $52,000 \text{ N/m}^2$. Aplicando la fuerza desde dentro hacia fuera simulando la presión del mosto y las uvas. Valor adquirido de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Presión} &= p * g * h \\ \text{Presión} &= 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 5 \text{ m} \\ \text{Presión} &= 51503 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\ \text{Presión (N)} &= 51503 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

En donde tenemos el peso del mosto, la gravedad y la altura que alcanzara el liquido en este caso serian los 5 metros del tanque.

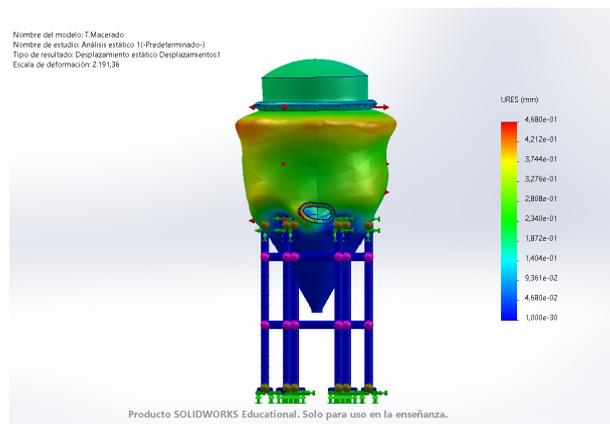


Figura 30. Análisis Presión de Tanque 3D.Fuente: Los autores
Fuente: Los autores

El análisis de presión sobre el tanque de maceración evaluó los desplazamientos y deformaciones causados bajo condiciones de carga estática. La simulación en SolidWorks muestra cómo la presión interna afecta la estructura del tanque, enfocándose en las áreas más frágiles con una escala de colores. La estructura mantiene una buena

integridad mecánica bajo las condiciones operativas simuladas, como lo demuestra el desplazamiento máximo de 0,468 mm en la parte superior del tanque. Estos resultados son esenciales para garantizar que el diseño del tanque pueda soportar las presiones típicas del proceso de maceración sin comprometer su funcionalidad.

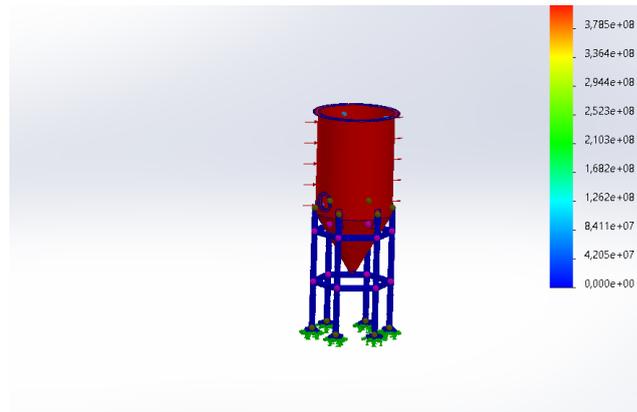


Figura 31. Análisis Flujo de Tanque 3D. Fuente: Los autores
Fuente: Los autores

Siguiendo con el análisis térmico de la estructura del tanque de maceración de acero inoxidable, aplicando una temperatura de 40 °C a la superficie del tanque. La simulación, creada por SolidWorks, muestra cómo la distribución del calor afecta la estructura mostrando las áreas con mayor y menor concentración térmica. Los resultados, representados en una escala de colores, muestran que la temperatura se distribuye de manera uniforme en la mayor parte del contenedor, con los valores de tensión térmica más altos concentrados en la parte superior del tanque. Estos resultados son cruciales para garantizar que el diseño pueda soportar las condiciones operativas, mantener la integridad estructural y garantizar un proceso de maceración eficiente.

VIII. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

VIII-A. Control de Temperatura en la Maceración

El control de la temperatura durante la maceración es un aspecto muy importante para la elaboración del vino, ya que influye directamente en la extracción de compuestos fenólicos y aromáticos, de esta manera afectando la calidad final del producto, la mala gestión de este proceso no solo puede dañar el mosto extraído del prensado sino que si no se controla de manera adecuada puede llegar a dañar secciones de la planta de maceración sobre todo el tanque de macerado. Para gestionar de manera precisa y eficiente este proceso, hemos optado por utilizar Simulink como la herramienta principal para el diseño y simulación del sistema de control automatizado de temperatura. La capacidad de Simulink para ejecutar simulaciones en tiempo real nos permitió probar diferentes configuraciones y ajustes en el sistema de control sin necesidad de implementarlos físicamente. Con este programa nos ahorramos tiempo y recursos, asegurando que solo el diseño más eficiente y simple fuera implementado en la práctica. Durante la fase de desarrollo, hemos probado varios prototipos utilizando Simulink. Estos incluyeron diferentes tipos de control, como el control PID, control difuso (fuzzy) y sistemas de histeresis. A través de simulaciones detalladas, se evaluaron las ventajas y desventajas de cada enfoque. Finalmente, solo uno de estos prototipos demostró ser el más efectivo y robusto para nuestras necesidades específicas. De este prototipo final hablaremos más en detalle en secciones posteriores.

VIII-B. Prototipo control PID

Durante la fase de desarrollo del sistema de control de temperatura para el tanque de macerado, el primer enfoque que consideré fue la implementación de un controlador PID en Simulink. Este controlador PID lo escogimos porque es un método ampliamente utilizado en la industria para regular variables de proceso, como la temperatura, debido a su efectividad en una amplia gama de aplicaciones. En este prototipo inicial consistió en un modelo básico de Simulink en el que habíamos configurado un controlador PID para mantener la temperatura del tanque de macerado

dentro de un rango óptimo que en este caso. El controlador ajustaba la entrada de calefacción en respuesta a las variaciones de la temperatura respecto al punto de ajuste deseado, utilizando las tres acciones del control PID proporcional, integral y derivativa.

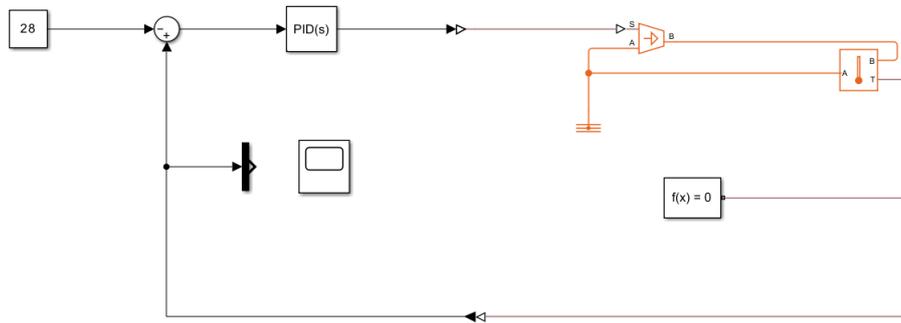


Figura 32. Sistema PID prototipo
Fuente: Los autores

Para poder entender mejor vamos a desglosar este sistema en librerías de simulink como librería de Simscape la cual ambas están presente en ese prototipo PID.

VIII-B1. Bloques de Simulink: En esta sección, los bloques de Simulink cumplen distintas funciones para el manejo y control del sistema. El bloque Constante genera una señal constante que actúa como referencia fija a lo largo de la simulación como en este caso la temperatura, garantizando la estabilidad de los parámetros establecidos. El bloque Suma se encarga de combinar la señal de referencia con la señal del sistema, generando un error que se envía al Controlador PID. Este controlador es el núcleo del sistema, ajustando las salidas para minimizar el error y mantener la temperatura dentro del rango deseado. Finalmente, el bloque Scope permite visualizar la evolución del sistema durante la simulación, proporcionando una herramienta crucial para la visualización y análisis de la respuesta del sistema.

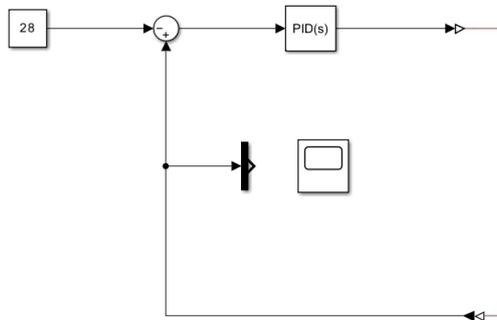


Figura 33. Sección de bloques simulink
Fuente: Los autores

VIII-B2. Bloques de Simscape: Simscape, por otro lado, ofrece herramientas para modelar sistemas físicos complejos. El bloque Simulink-PS Converter es fundamental para traducir las señales de Simulink en señales físicas, permitiendo la integración entre las variables simuladas y los elementos físicos modelados. El bloque Controlled Temperature Source representa en este prototipo la fuente de calor controlada que se utiliza para ajustar la temperatura del sistema, mientras que el sensor de temperatura mide continuamente la temperatura del sistema, proporcionando datos en tiempo real al controlador PID. El simulink-ps converter y el ps-simulink converter son

bloques que sirven para transformar las señales simulink en señales físicas para así poder ser captadas por los bloques Simscape, siendo el Simulink-PS Converter que transforma señales Simulink a Simscape y el PS-Simulink Converter el que transforma señales Simscape a señales para los bloques Simulink. Por último, el bloque Solver Configuration asegura que todas las ecuaciones físicas que describen el sistema sean resueltas correctamente, permitiendo una simulación precisa y sin errores.

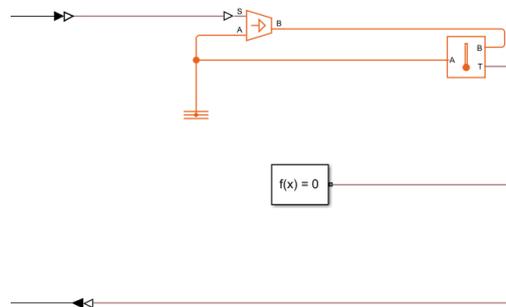


Figura 34. Sección de bloques Simscape
Fuente: Los autores

El uso de Simscape fue inicialmente considerado debido a su capacidad para modelar sistemas físicos multi-dominio, esto nos permite una representación realista de los procesos térmicos dentro del tanque de maceración. Además, optamos por elegir un sistema más complejo y adaptativo que podría ofrecer un mejor rendimiento y mayor control, especialmente considerando la necesidad de mantener la temperatura dentro de márgenes muy estrechos para asegurar la calidad del vino. El sistema de control PID básico pensamos que no ofrecía la flexibilidad necesaria para adaptarse a las posibles variaciones en el proceso, lo que me llevó a considerar alternativas más avanzadas. Este tipo de control no era malo en lo absoluto solo buscábamos un sistema que abarque tantas variables posibles que creía necesaria, aunque no fue así ya que el método que se va a mostrar es complejo de manera innecesaria para su función simple como lo es el control de temperatura.

VIII-C. Prototipo control fuzzy

Después de analizar la implementación del controlador PID, se consideró la posibilidad de utilizar un sistema de control difuso para el manejo de la temperatura en el tanque de maceración. Este enfoque se descartó rápidamente debido a la complejidad que conllevaba su implementación y ajuste en comparación con los beneficios que ofrecía para este caso específico. El sistema difuso, aunque es un método poderoso para manejar sistemas no lineales y con incertidumbre, requería una gran cantidad de reglas y ajustes precisos para funcionar de manera eficiente en un entorno tan específico como el de control de temperatura de la maceración de vino.

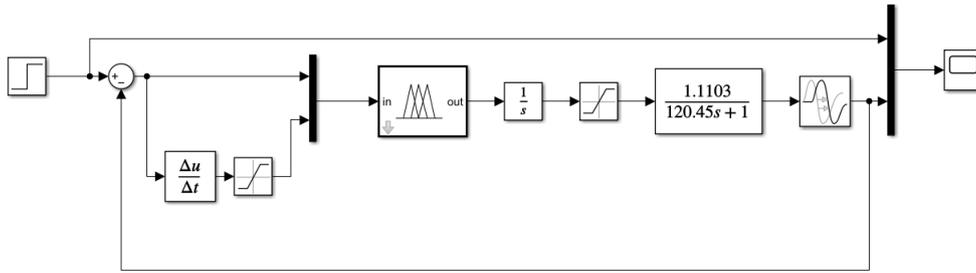


Figura 35. Sistema de control de temperatura con control difuso.
Fuente: Los autores

Este diagrama representa un sistema de control de temperatura utilizando lógica difusa. El proceso comienza con la recepción de una señal de entrada que refleja la diferencia entre la temperatura deseada y la temperatura actual del tanque de maceración. Esta diferencia se pasa al bloque de control difuso, donde se evalúa a través de un conjunto de reglas que interpretan las condiciones actuales y determinan las acciones correctivas necesarias. La salida de este controlador se integra, lo que permite sumar los pequeños cambios a lo largo del tiempo y suavizar la respuesta del sistema, evitando ajustes bruscos. Posteriormente, la señal integrada atraviesa una función de transferencia que modela la dinámica del tanque, simulando cómo responderá a los ajustes en la señal de control. La salida de esta función se realimenta en el sistema, cerrando el ciclo de control y permitiendo un ajuste continuo de la temperatura hasta que se alcance el valor deseado. Finalmente, el sistema ofrece una salida que puede ser monitorizada, lo que permite observar y evaluar cómo evoluciona la temperatura del tanque con el tiempo.

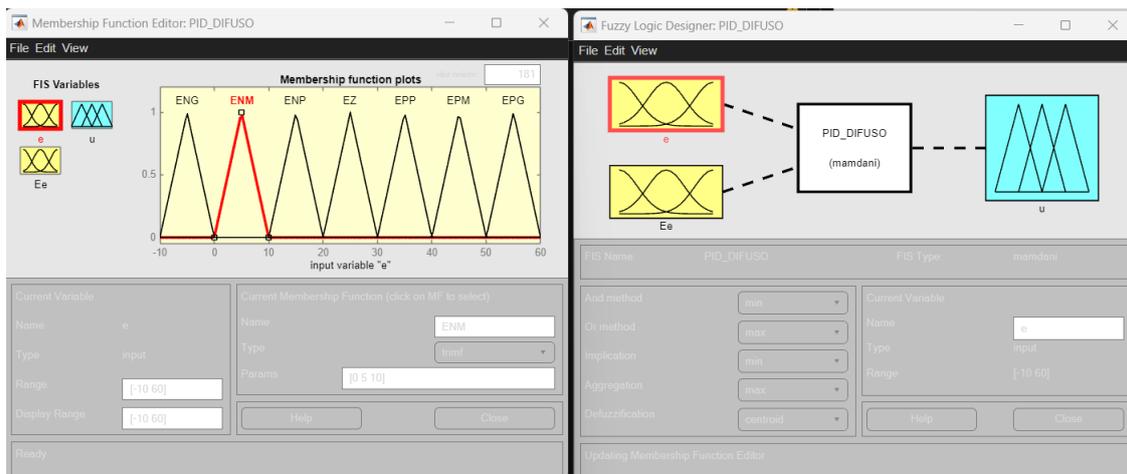


Figura 36. Diagrama de Control Difuso
Fuente: Los autores

En este punto del desarrollo, estábamos utilizando variables lingüísticas para nuestro sistema de control difuso y de esta manera manejar la complejidad del proceso. Las variables lingüísticas como $.^{EN}G, ENM, ENP, EZ, EPM, z^{.EP}G$ representaban diferentes estados de la entrada, permitiendo un control más matizado del sistema. Sin embargo, a medida que avanzábamos en la implementación, nos dimos cuenta de que el control difuso, aunque potente y eficiente, no se alineaba con la simplicidad necesaria para un control de temperatura simple y manejable de mantener en nuestra planta. La complejidad inherente al uso de reglas difusas y la necesidad de afinar continuamente estas reglas hicieron que este enfoque no era el más adecuado para nuestras necesidades. Por lo tanto, decidimos cambiar y finalmente optar por un método más sencillo y capaz, que no solo fuese más sencillo de implementar, sino

que también ofreciera una solución definitiva al control de temperatura, alineándose mejor con los objetivos y limitaciones de nuestra tesis.

VIII-D. Prototipo control por método de histeresis

Este método que escogimos el cual es por histeresis es un enfoque generalmente utilizado en sistemas de control que permite evitar cambios bruscos en los dispositivos de calefacción y refrigeración. De manera general, este método introduce un termino llamado "banda muerta" en la que no se realiza ninguna acción de control, permitiendo que la temperatura fluctúe ligeramente antes de activar o desactivar el sistema. En nuestro prototipo, el método de control on-off fue implementado tanto para el calentador como para el sistema de refrigeración, proporcionando un control básico pero efectivo para mantener la temperatura deseada. Este enfoque nos permitió estabilizar la temperatura dentro de un rango aceptable y manejable.

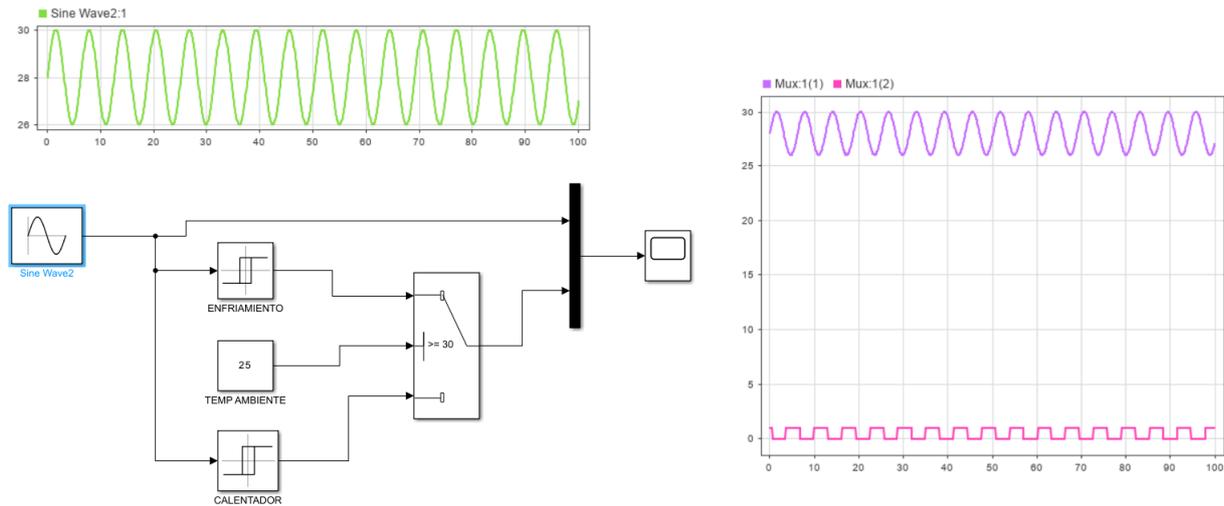


Figura 37. Diagrama de Control por histeresis
Fuente: Los autores

El generador de onda senoidal (Sine Wave) genera una señal de entrada en forma de onda senoidal, simulando como una variable la variación de temperatura en el tiempo, representando las fluctuaciones que podrían en el sistema de control. Los bloques de conmutación (Switch) son utilizados para decidir si el sistema debe activar el calentador o el enfriador, comparando la señal de entrada con un valor de referencia. El bloque de referencia de temperatura (Temp Ambiente) establece como un bloque (Constant) a la temperatura ambiente de referencia. Los bloques de enfriamiento y calentamiento (Enfriamiento y Calentador) representan los mecanismos de control que enfrían o calientan el sistema según sea necesario, representando estos como bloques (Relay). El bloque Mux en este caso combina múltiples señales en una sola línea para simplificar el manejo de datos, recogiendo las señales de los sistemas de calentamiento y enfriamiento y enviándolas para su procesamiento posterior. Finalmente, el bloque de visualización (Scope), aunque no es una gráfica en sí, actúa como un visor que permite observar las señales de salida del sistema, facilitando el análisis del comportamiento del control de temperatura en tiempo real. Este sistema básico de control utiliza estos componentes para regular la temperatura mediante la activación y desactivación de los sistemas de calefacción y refrigeración, asegurando que el sistema mantenga las condiciones óptimas necesarias.

VIII-E. Funcionamiento

Como primer lugar hemos escogido un bloque (Sine wave).

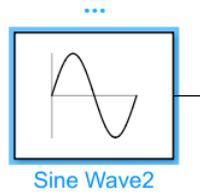


Figura 38. Bloque sine wave
Fuente: Los autores

Este bloque (Sine wave) representa la cantidad mínima y la cantidad máxima sobre la cual la temperatura será regida, siendo el máximo de temperatura 28 grados Celsius como el mínimo a corregir, siendo 26 grados Celsius.

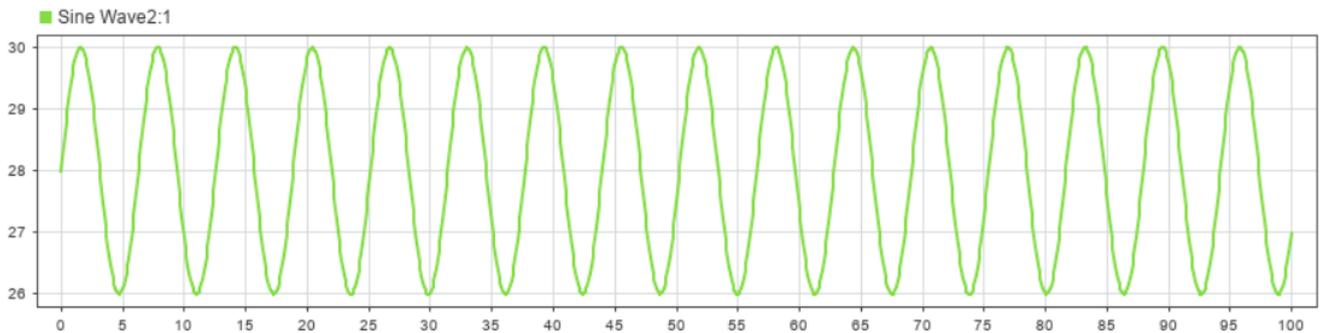


Figura 39. Grafica del sine wave
Fuente: Los autores

A este bloque (Sine wave) se le añade una amplitud de 2 para así poder completar este margen en la señal.

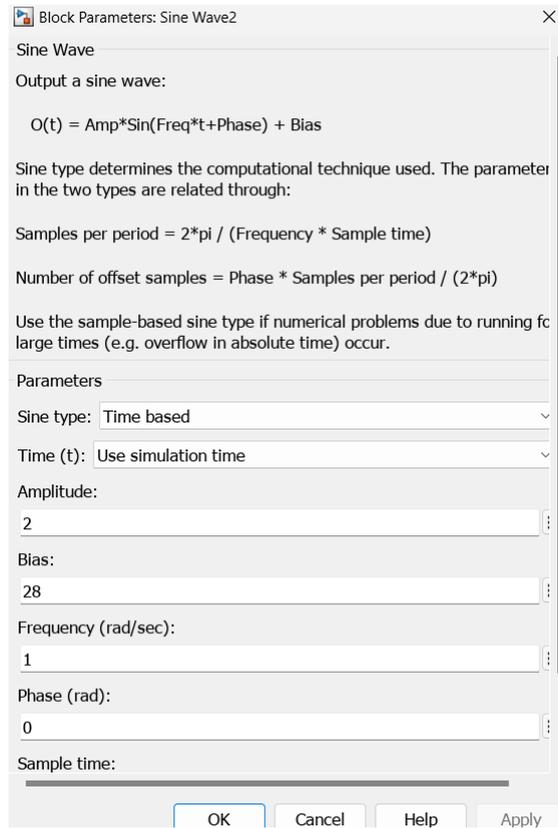


Figura 40. Propiedades del bloque sine wave
Fuente: Los autores

Luego seguimos con los bloques (Relay), siendo estos los refrigerantes y el calentador, teniendo esta función en el método on-off.

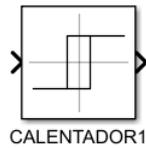
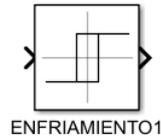


Figura 41. Calentador y refrigerante
Fuente: Los autores

Ya que estos están configurados para que ciertas señales dirigidas por el bloque (Sine wave) se enciendan con rango 1 y se apaguen con rango 0.

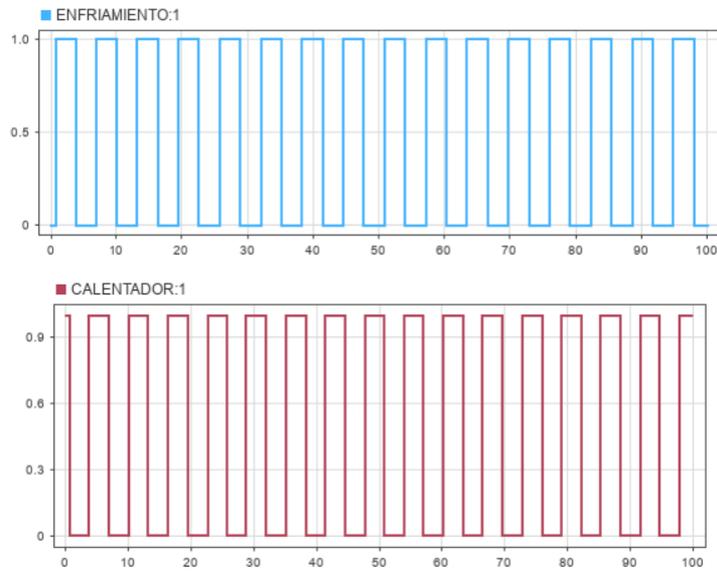


Figura 42. Graficas del calentador y refrigerante
Fuente: Los autores

La configuración del bloque (Relay) calentador está de la siguiente forma: (switch on point) en 29, (switch off point) en 27, (output when on) en 0 y (output when off) en 1. En cambio, el bloque (Relay) de refrigeración está con: (switch on point) en 29, (switch off point) en 27, (output when on) en 1 y (output when off) en 0. De esta manera se controla ambos bloques para que funcionen de acuerdo a la temperatura.

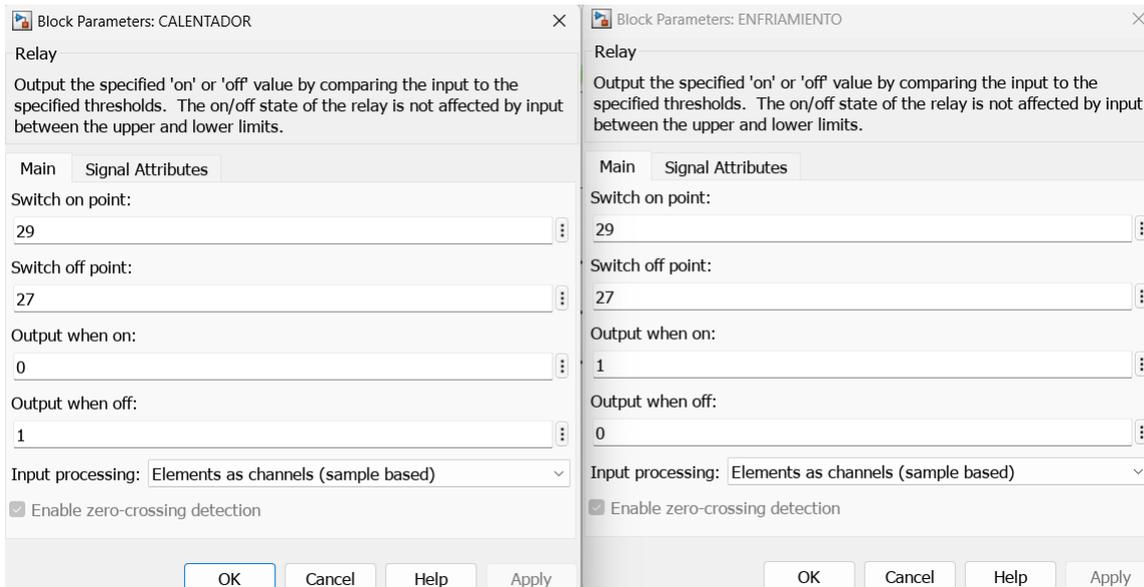


Figura 43. Propiedades de los bloques relay
Fuente: Los autores

Como sección un poco secundaria pero a la vez muy importante, tenemos el bloque (constant), que representa la temperatura ambiente ya que esta suele variar a lo largo de la temporada o de cada estación del año.

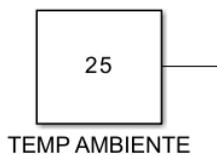


Figura 44. Bloque constant
Fuente: Los autores

Esta va a la par con la temperatura del ambiente ya que este switch afecta a ambos bloques (Relay), siendo estos el calentador como el de refrigeración, siendo la señal del bloque (constant) la que dirige estos bloques hacia el mux.

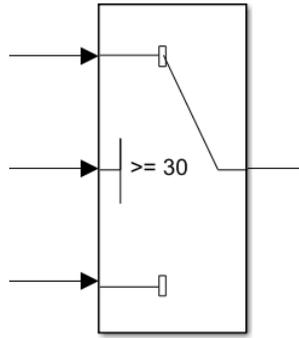


Figura 45. Conmutador

Fuente: Los autores

Al final se manda la señal del switch de los bloques de temperatura, como también se manda la señal del bloque (Sine wave) para así comparar y ver cómo se activan los bloques de temperatura junto a la señal inicial.

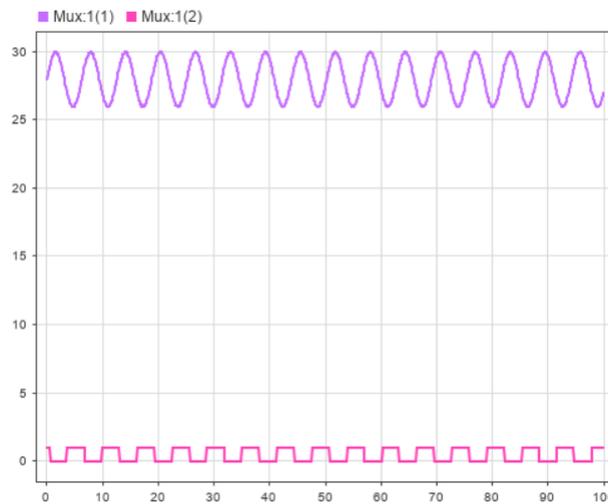


Figura 46. Gráfica del resultado referente a la señal como al calentador/refrigerante

Fuente: Los autores

En resumen, el desarrollo de esta sección del Simulink nos llevó a explorar diferentes métodos de control de temperatura para el tanque de maceración. A lo largo del proceso, analizamos opciones como el control PID y el control difuso, ambos descartados por su complejidad y dificultad para adecuarse a las necesidades específicas del sistema. Finalmente, el método de histeresis se presentó como la solución más apta debido a su simplicidad y eficacia. Este método, basado en el control on-off, permite una regulación precisa y estable de la temperatura, lo que lo convierte en una opción altamente manejable para el control automatizado en el proceso de vinificación. La capacidad de responder de manera efectiva a las variaciones de temperatura, manteniendo la estabilidad del sistema sin la necesidad de ajustes complejos, hizo del método de histeresis la elección más adecuada para esta aplicación.

VIII-F. Diseño e Implementación de una Planta Automatizada en Labview

Para empezar LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) el cual representa un campo gráfico utilizado para la creación de aplicaciones de prueba, control y automatización en una variedad de industrias.

Desarrollado por National Instruments, LabVIEW permite a los usuarios diseñar sistemas utilizando un lenguaje de programación basado en diagramas de bloques, lo que facilita la visualización y manipulación de los datos y las señales.[40]

En esta etapa presentamos el diseño e implementación de la planta de maceración de uvas. El objetivo principal es optimizar y controlar el proceso de maceración mediante el uso de herramientas de automatización, concretamente utilizando el entorno de programación LabVIEW para el control de las variables críticas del proceso. La planta de maceración automatizada está diseñada para controlar y monitorear las diferentes etapas del proceso de maceración, que incluyen la despalladora, el intercambiador de calor, y la máquina de macerado. Estas etapas se integran a través de un sistema de control basado en LabVIEW, permitiendo una gestión precisa y eficiente del proceso. La interfaz de usuario en LabVIEW permite a los operarios de la planta interactuar con el sistema de manera intuitiva. Se diseñaron paneles de control que muestran en tiempo real las variables críticas del proceso, como temperatura, presión y tiempo. Además, se incluyen alertas visuales y sonoras para notificar cualquier anomalía o necesidad de intervención manual. El sistema automatizado integra sensores de temperatura, presión y flujo, conectados a módulos de adquisición de datos que envían la información al software LabVIEW. Los actuadores, como válvulas y bombas, son controlados directamente desde la interfaz, permitiendo ajustes precisos durante el proceso. El sistema automatizado integra sensores de temperatura, presión y flujo, conectados a módulos de adquisición de datos que envían la información al software LabVIEW. Los actuadores, como válvulas y bombas, son controlados directamente desde la interfaz, permitiendo ajustes precisos durante el proceso.

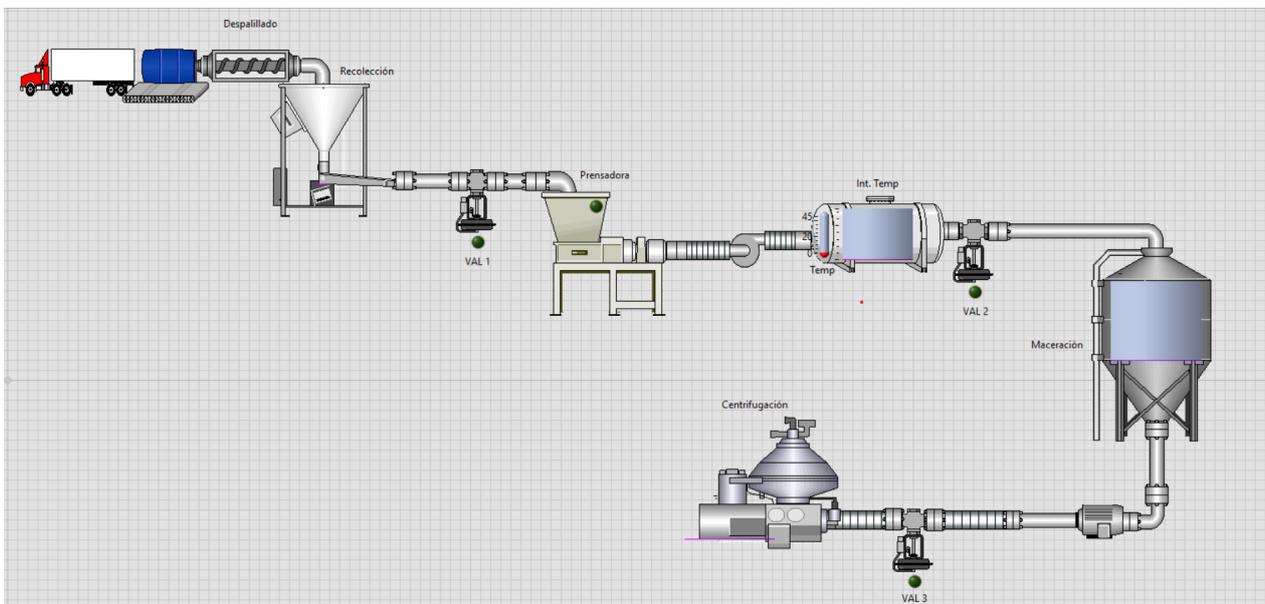


Figura 47. Interfaz Planta

Fuente: Los autores

VIII-G. Diagrama de Bloques

Este diagrama de bloque representa la secuencia de operaciones y el control automatizado del sistema de vinificación, específicamente desde la recolección hasta la centrifugación del vino, cada una controlada y monitorizada a través de diferentes parámetros como la temperatura y la presión simulada. Cada bloque al estar interconectado las salidas de una etapa pueden influir en las entradas de la siguiente. Esto permite un control coordinado y constante de todo el proceso. Las señales de temperatura son particularmente importantes, ya que garantizan que cada etapa del proceso se lleva a cabo bajo condiciones óptimas para la producción de vino de alta calidad.

VIII-G1. *Bloque de Recolección:* En la recolección de uvas, se controla y monitorea la temperatura para asegurar que las uvas recolectadas se mantengan en condiciones óptimas antes de ser procesadas. Este control temprano es crucial para todo el proceso subsecuente, ya que establece una base sólida para la vinificación. Al momento de que se llegue a la máxima cantidad de recolección continuamos con el siguiente bloque.

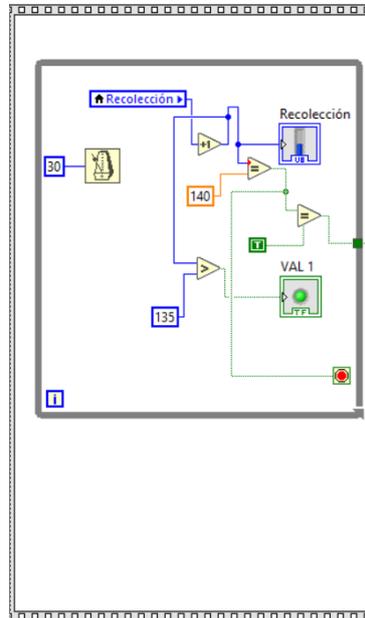


Figura 48. Bloque Recolección

Fuente: Los autores

VIII-G2. *Bloque de Intercambiador y Prensado:* Las uvas recolectadas son sometidas al proceso de prensado, donde se extrae el mosto. El control de temperatura durante el prensado es esencial para asegurar que el proceso se realice bajo condiciones específicas que no alteren negativamente la composición del mosto. A medida que el agua fluye entre caliente y frío en el intercambiador de temperatura, los sensores y los sistemas de regulación aseguran que la temperatura se mantiene en un valor ideal para este caso. Esto garantiza una extracción eficiente y la preservación de los compuestos esenciales del jugo de uva. También, mantener una temperatura estable reduce la posibilidad de que se propaguen microorganismos no deseados, los cuales podrían tener un impacto en la fermentación posterior.

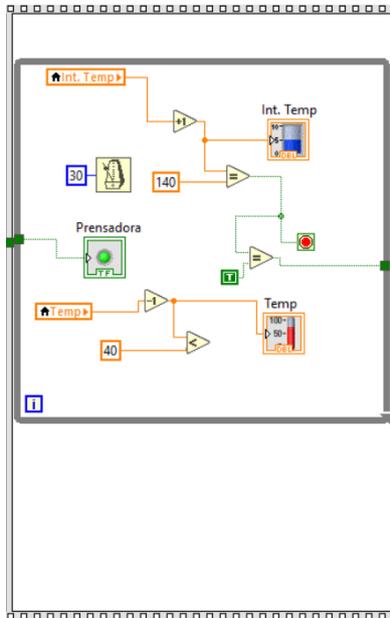


Figura 49. Bloque Prensado-Intercambiador
Fuente: Los autores

VIII-G3. Bloque de Maceración: Este bloque del diagrama se centra en mantener condiciones térmicas controladas mientras el mosto se mezcla con las pieles de las uvas. El sistema ajusta continuamente la temperatura (con un valor referencial 40 °C), permitiendo una extracción óptima de compuestos fenólicos, lo que es vital para alcanzar la calidad precisa para el producto. Este control asegura que el mosto se extraiga a una temperatura que favorezca la liberación de aromas y sabores deseables sin provocar reacciones químicas adversas, como la mezcla de los azúcares o la degradación de compuestos volátiles. El mantener una temperatura estable minimiza el riesgo de proliferación de microorganismos no deseados.

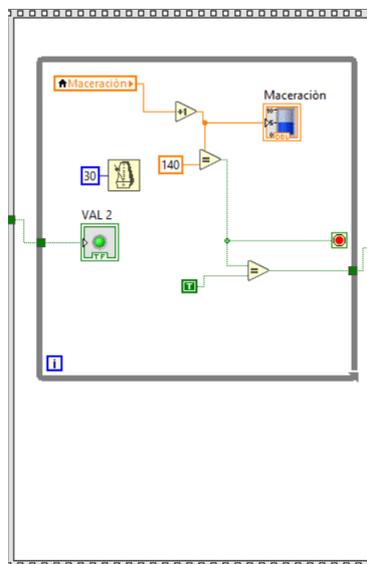


Figura 50. Bloque Maceración
Fuente: Los autores

VIII-G4. Bloque de Centrifugado: En el último paso del proceso, después de la etapa de maceración, el mosto se centrifuga para separar los sólidos del líquido. Este paso es crucial para la clarificación del vino porque elimina las partículas en suspensión, lo que garantiza que el vino final sea limpio, brillante y libre de turbidez. Se presta especial atención al control de la temperatura durante la centrifugación, monitorizándola constantemente para evitar cualquier alteración en la composición del vino causada por un sobrecalentamiento. Esto no solo garantiza que la centrifugación se lleve a cabo de manera eficiente, sino que también protege la integridad del vino, asegurando que su sabor, aroma y calidad general no se vean afectados durante esta etapa crucial del proceso de vinificación.

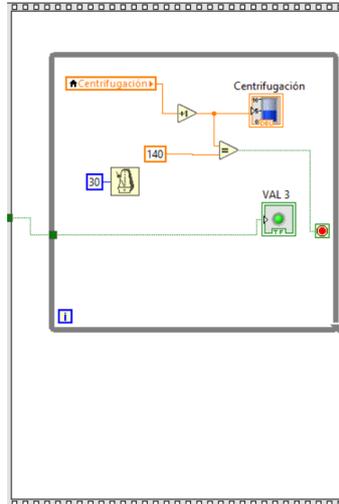


Figura 51. Bloque Centrifugado
Fuente: Los autores

Las señales de temperatura son cruciales porque permiten que cada etapa del proceso se lleve a cabo bajo las condiciones ideales para producir vino de alta calidad.

VIII-G5. Bloque de Control Temperatura: Este bloque es esencial para la simulación y validación del comportamiento de un sistema de control de temperatura. Puede evaluar la efectividad del control implementado probando cómo el sistema responde a un aumento de temperatura y cómo estabiliza la temperatura en el punto deseado. Esto es especialmente crucial para procesos como la maceración en vinificación, donde la temperatura debe controlarse con precisión para garantizar la calidad del producto final. Además, ayuda a validar el diseño antes de ponerlo en práctica, lo que reduce el riesgo de fallas durante la operación. Los indicadores visuales como los LED facilitan la interpretación de los resultados, lo que hace que el sistema sea más fácil de entender y monitorear.

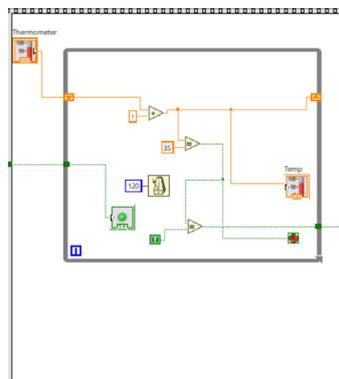


Figura 52. Control Temperatura
Fuente: Los autores

IX. RESULTADOS

IX-A. Simulación del diseño de una planta de elaboración de vino

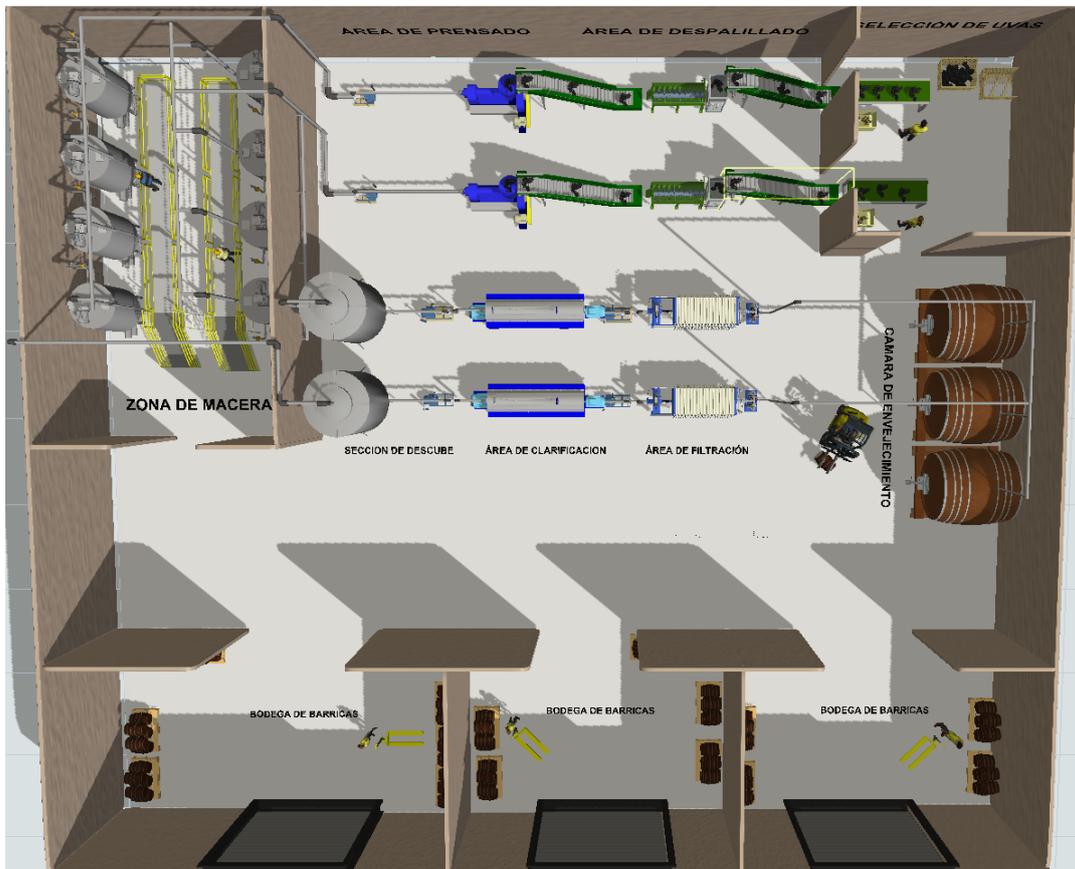


Figura 53. Diseño de una planta de elaboración de vino

Fuente: Los autores

La planta vinícola diseñada en la figura 43 este proyecto se divide en diversas áreas clave, siendo estas la selección de uvas, despalillado, prensado, maceración y bodega de barricas, todas integradas y simuladas en el programa de diseño industrial FlexSim para optimizar el flujo de trabajo y la eficiencia del proceso. A pesar de utilizar maquinaria de bajo y medio costo, como despalilladoras con control de velocidad variable y prensas neumáticas, la planta es capaz de producir vino de alta calidad y así de esta manera reduciendo costos y obteniendo ganancias.

IX-B. Sección de Maceración

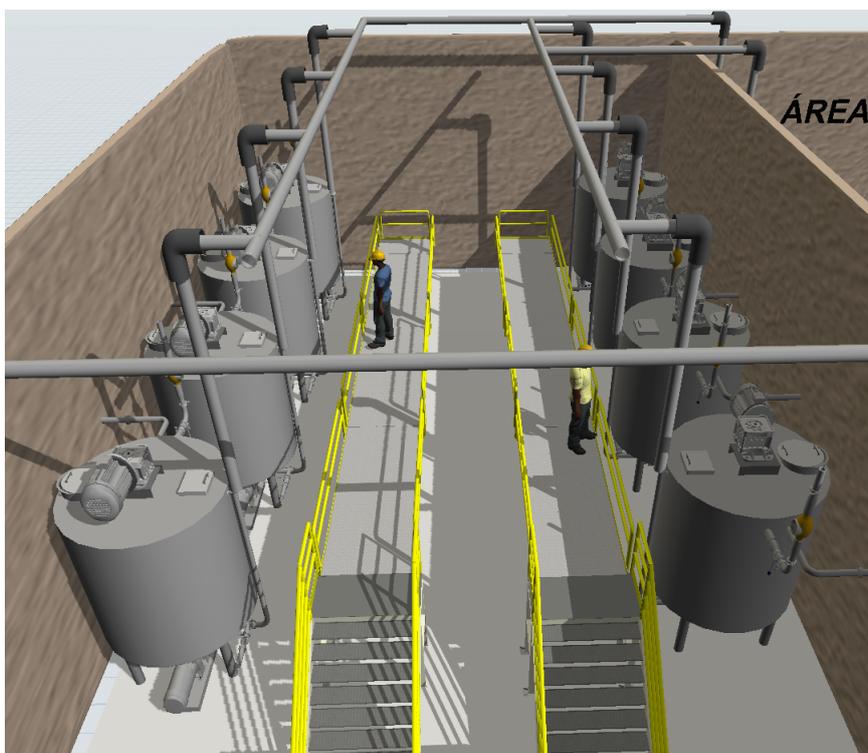


Figura 54. Sala de maceración
Fuente: Los autores

En la figura 44 podemos observar la sección de maceración de la planta vinícola, donde se destacan los tanques de acero inoxidable utilizados para este proceso fundamental. Estos tanques están equipados con un sistema automatizado de control de temperatura, diseñado para mantener condiciones óptimas durante la maceración y asegurar la extracción efectiva de compuestos fenólicos y aromáticos.

IX-C. Viabilidad Económica

Hemos creado una tabla para visualizar la viabilidad económica, tanto de una empresa totalmente automatizada similar al prototipo propuesto en flexsim como una empresa que usa métodos tradicionales. A pesar de que la empresa automatizada incurre en un costo inicial significativamente mayor el cual es más del doble que la empresa tradicional, esto permite una reducción en los costos operativos anuales del 10.53 %. Además, la producción anual en la empresa automatizada es un 33.33 % mayor, lo que a su vez incrementa los ingresos anuales por ventas en el mismo porcentaje.

En cuanto a las ganancias netas, la empresa automatizada logra generar más del doble de ganancias en comparación con la empresa tradicional al final del primer año y al cabo de tres años. Esto se traduce en un retorno de inversión (ROI) superior en ambas métricas temporales, con un ROI de 545 % en el primer año para la empresa automatizada, en comparación con un ROI de 388.89 % en la empresa tradicional.

DATOS	UNIDAD	EMPRESA TRADICIONAL	EMPRESA AUTOMATIZADA	GANANCIAS/PERDIDAS
COSTO INICIAL (MAQUINAS)	USD	\$45.000,00	\$100.000,00	-122,22%
COSTOS OPERATIVOS ANUALES	USD	\$380.000,00	\$340.000,00	10,53%
PRODUCCIÓN ANUAL	LITROS	150.000	225.000	33,33%
INGRESOS POR VENTA ANUAL	USD	\$600.000,00	\$900.000,00	33,33%
AUTOMATIZACIÓN/MANTENIMIENTO ANUAL	USD	\$0,00	\$15.000,00	N/A
GANANCIA NETA (1 AÑOS)	USD	\$220.000,00	\$545.000,00	N/A
GANANCIA NETA (3 AÑOS)	USD	\$660.000,00	\$1.535.000,00	N/A
ROI (AÑO 1)	USD	388,89%	545,00%	N/A
ROI (AÑO 3)	USD	1366,67%	1535,00%	N/A

Figura 55. TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS
Fuente: Los autores

IX-D. Respuesta del control de temperatura por método de hysteresis

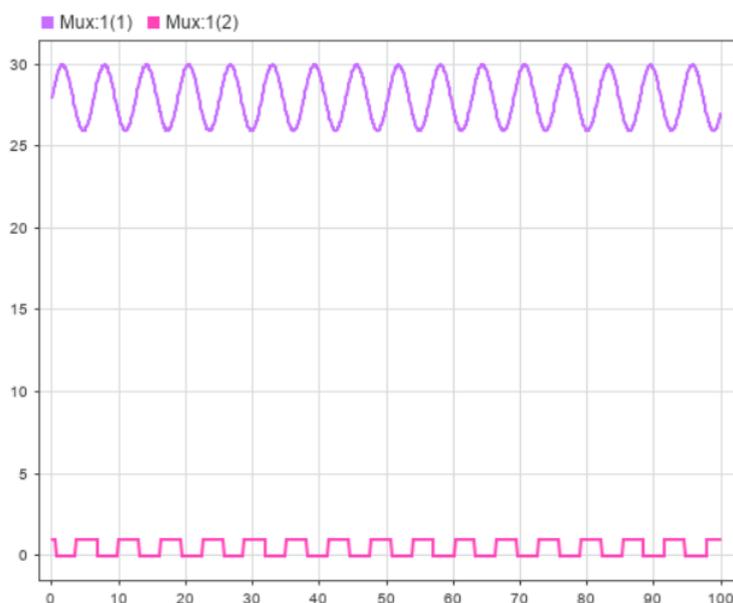


Figura 56. Resultado del control de temperatura
Fuente: Los autores

En la figura 45, se muestra el comportamiento del sistema de control de temperatura utilizando el método de histéresis. La gráfica superior se logra apreciar la señal de temperatura en función del tiempo, donde se observa una oscilación controlada alrededor del valor objetivo de 30°C, con un margen que oscila entre 28°C y 30°C, lo que garantiza la estabilidad térmica del sistema. La gráfica inferior refleja las señales de activación del sistema de calefacción o refrigeración, respectivamente, las cuales se encienden y apagan en función de la temperatura

medida. Este método de control on-off con histéresis resulta en una solución sencilla y eficiente para mantener la temperatura dentro de los límites deseados, demostrando ser una opción adecuada y óptima para el manejo de la temperatura en el proceso de maceración de uvas. Este tipo de método simple permite una respuesta rápida y estable a las variaciones de temperatura, minimizando la complejidad del sistema sin comprometer la calidad del control térmico.

IX-E. Respuesta gráfica del bloque sine wave

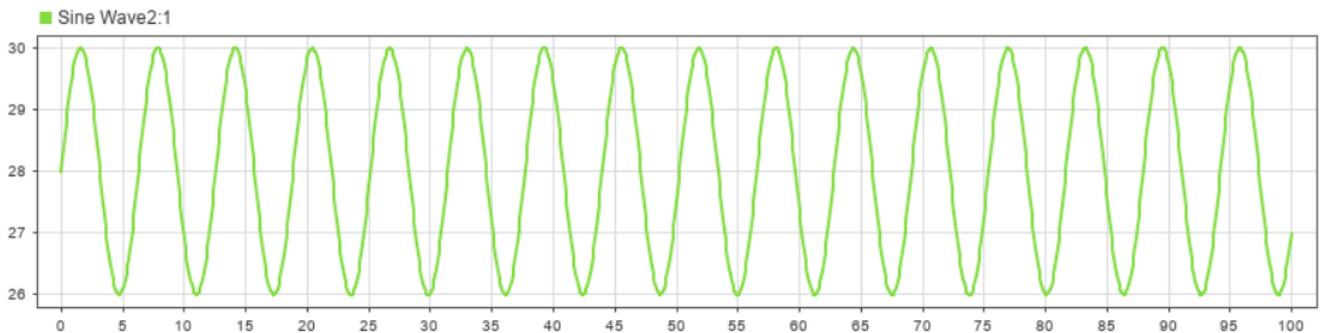


Figura 57. Grafica del Sine wave
Fuente: Los autores

En la figura 46, se presenta la gráfica generada por la función "Sine Wave" que representa la señal de temperatura objetivo dentro del sistema de control. La señal sinusoidal simula la variación de la temperatura a lo largo del tiempo, entre 26°C y 30°C, que es el rango establecido para el proceso de maceración. Esta señal sirve como referencia para el sistema de control, que debe ajustar la activación de los sistemas de calefacción y refrigeración para mantener la temperatura dentro de estos límites. La precisión de este control es muy importante para poder asegurar la calidad del vino en su etapa final, ya que permite evitar fluctuaciones térmicas que podrían afectar el proceso de maceración.

IX-F. Gráfica del calentador y refrigerante

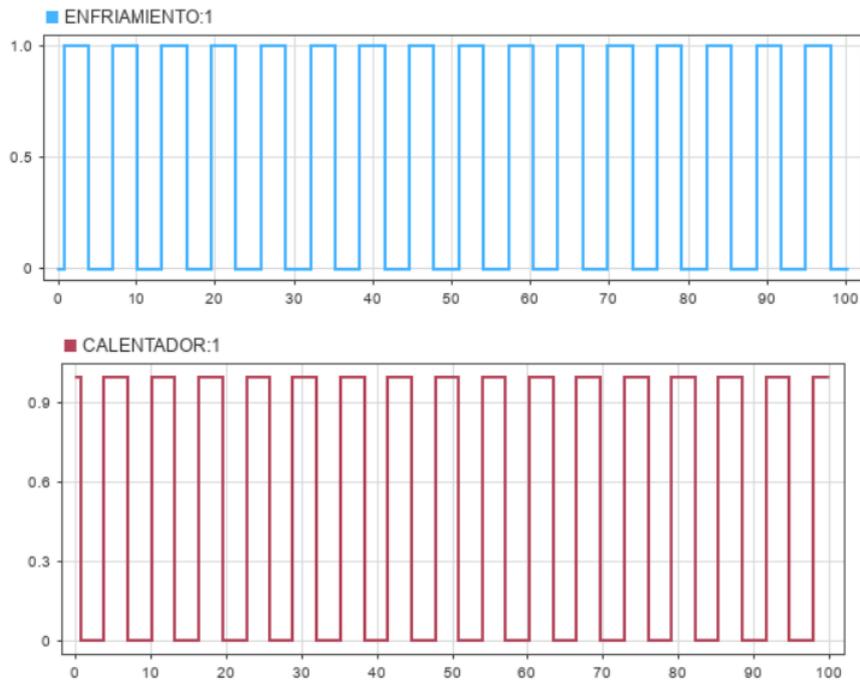


Figura 58. Gráfica del calentador/refrigerante
Fuente: Los autores

En la figura 47, se pueden observar las gráficas correspondientes al comportamiento del sistema de control de temperatura. La gráfica superior muestra la respuesta del sistema de refrigeración (en azul), mientras que la inferior refleja el comportamiento del sistema de calefacción (en rojo). Ambos sistemas se activan y desactivan de manera alterna según la temperatura del ambiente siendo esta un bloque (Constant), lo que permite mantener la temperatura dentro de un rango controlado. tener separados estos bloques (Relay) es eficiente para mantener la estabilidad térmica del proceso de maceración, ya que permite la activación o desactivación precisa de los sistemas de calefacción y refrigeración según las necesidades del entorno.

IX-G. Diagrama de Bloques del Sistema de Control de Temperatura

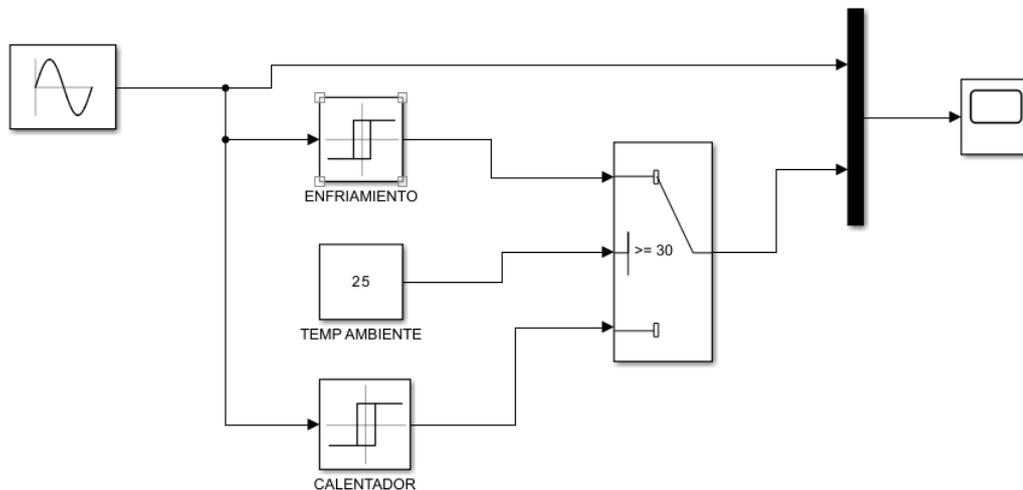


Figura 59. Diagrama de Bloques del Sistema de histeresis
Fuente: Los autores

En la figura 48 se muestra el diagrama de bloques que representa el sistema de control de temperatura basado en un método de histeresis. En este sistema utilizamos una señal sinusoidal como entrada que simula la variación de la temperatura de entre 26°C a 30°C. Dependiendo de esta señal, se activan los bloques de “Enfriamiento” y “Calentador”, que están diseñados para mantener la temperatura dentro de un rango específico. El bloque (Relay) que llamamos “Temp Ambiente” nos establece una temperatura de referencia en ese momento de 25°C, y el bloque de comparación activa el sistema de calefacción cuando la temperatura cae por debajo de los 26°C y el sistema de enfriamiento cuando supera los 30°C. El uso de histeresis en este control es capaz de evitar el encendido y apagado constante de los sistemas, mejorando la estabilidad del proceso y asegurando que la temperatura se mantenga en el rango óptimo para la maceración.

IX-H. Análisis y Factor de Seguridad

A través de los análisis estructurales llevados a cabo, se determinó que la estructura del tanque de macerado presenta un factor de seguridad superior a 20, lo que indica una robustez excepcional frente a las cargas operativas y condiciones extremas a las que podría estar sometido durante su vida útil. Este alto factor de seguridad no solo garantiza la integridad estructural del tanque bajo las cargas esperadas, sino que también proporciona un margen significativo frente a sobrecargas imprevistas, asegurando que la estructura puede soportar condiciones extremas sin riesgo de falla o deformación significativa. Un margen tan amplio permite operar con la seguridad de que el equipo no solo cumple con los estándares de seguridad mínimos, sino que también los supera, lo que reduce significativamente los riesgos asociados a fallas estructurales y aumenta la vida útil del tanque. Además, este nivel de seguridad permite pensar en futuras ampliaciones o aumentos en la capacidad de operación sin tener que cambiar mucho la estructura actual.

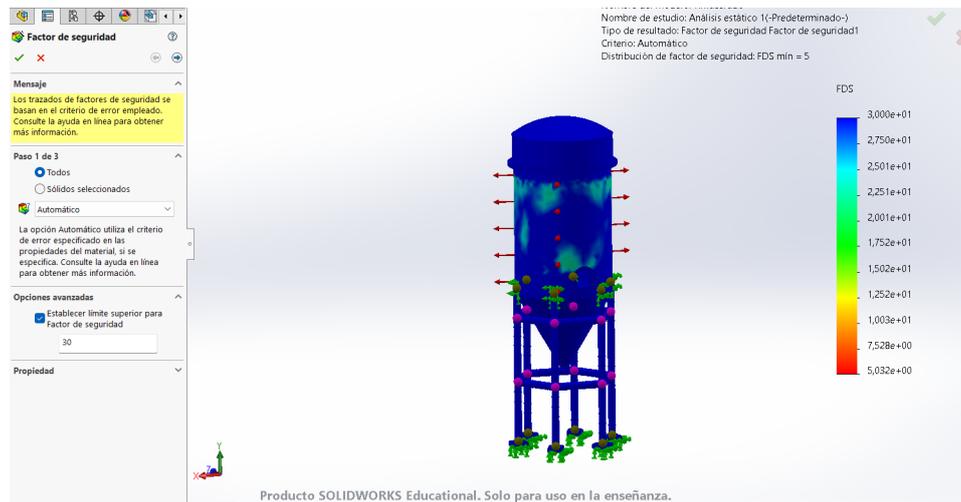


Figura 60. Factor de Seguridad
Fuente: Los autores

IX-I. Ventajas del Material

Gracias a sus grandes propiedades y su resistencia a la corrosión, el acero inoxidable fue elegido como el material principal para la construcción de las estructuras. Este material no solo ofrece la durabilidad necesaria para soportar las condiciones operativas, sino que también ofrece una excelente resistencia a los ataques químicos, lo cual es fundamental en entornos donde se manejan líquidos como el mosto, que pueden ser corrosivos en presencia de oxígeno y ciertos niveles de acidez. El acero inoxidable tiene muchas ventajas además de sus propiedades químicas y estructurales; también es fácil de limpiar y cumple con estrictos estándares de higiene. En la industria alimentaria, la limpieza y la desinfección son esenciales para garantizar la seguridad del producto final. En el tanque de macerado, el uso de acero inoxidable garantiza el cumplimiento de las normas sanitarias requeridas para la producción de vino de alta calidad gracias a su superficie lisa y no porosa, que evita la acumulación de desechos y facilita una limpieza efectiva. El acero inoxidable es el material perfecto para aplicaciones en las que la pureza y la calidad del producto. Los resultados de los análisis de estructura y materiales demuestran que el diseño del tanque de macerado no solo cumple con las expectativas de seguridad y durabilidad, sino que también supera ellas. El tanque tiene muchos beneficios sobre sus competidores, como una mayor vida útil, menos costos de mantenimiento y cumplimiento estricto de los estándares de calidad y seguridad de la producción vinícola. Estos beneficios incluyen un factor de seguridad superior a 20 y el uso de acero inoxidable como material de construcción.

IX-J. Sistema Automatizado

Este sistema ha sido diseñado utilizando un enfoque modular, por lo que cada fase del proceso y la monitorización de estos de estos parámetros esta representada por su propio conjunto de bloques y conexiones dentro del entorno de Labview. Gracias a la capacidad de Labview por controlar y simular todo tipo de procesos industriales, tenemos bloques para los respectivos controles como la temperatura, la activación y regulación del flujo de líquidos para garantizar la calidad y consistencia del producto final.

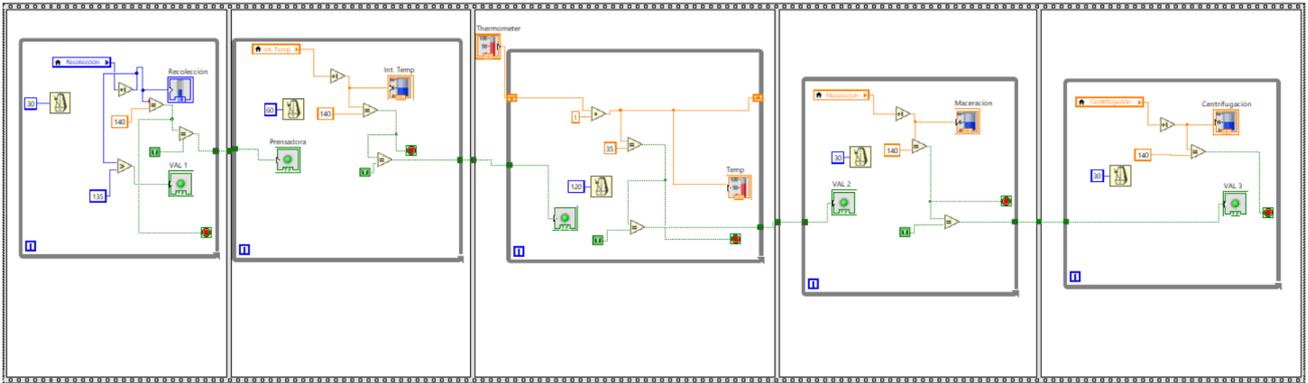


Figura 61. Diagrama de Bloque
Fuente:Autores

La implementación de este sistema de control automático en la producción de vino es una herramienta muy útil que mejorará en gran medida la calidad, consistencia y eficiencia del proceso de fabricación de vino y, por lo tanto, traerá un mejor nivel de productos finales, así como una producción de vino sostenible y competitiva.

X. CRONOGRAMA

Tabla II
CRONOGRAMA.
FUENTE: LOS AUTORES

		Diseño de Planta Automatizada de Maceración de uvas																		
		Carrera: Mecatrónica																		
ACTIVIDAD	ACTIVIDAD ESPECIFICA	RESPONSABLE	VIGENCIA 2024																	
			MES1	MES2	MES3	MES4	MES5	MES6	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
Obtener información base de datos de investigación sobre plantas de maceración de uvas y procesadora de vinos.	Investigar acerca el proceso de elaboración de uvas de manera industrial.	Est.Fernando Romero, Est.Jimmy Abad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Investigación de documentos para la recopilación de datos	Analizar la información obtenida acerca diseños de plantas para el proyecto.	Est.Fernando Romero, Est.Jimmy Abad	1	1																
Diseño de planos acerca del proceso de maceración	Selección de software a utilizar y establecer el diseño seleccionado.	Est.Fernando Romero, Est.Jimmy Abad			1															
Elección de materiales y capacidades para los almacenadores	Realizar el modelado del diseño en 3d.	Est.Fernando Romero, Est.Jimmy Abad					1	1												
Diseño del sistema de automatización.	Elección de placas procesadoras ya sean Raspberry o Arduino. Posterior codificación en Phytton.	Est.Fernando Romero, Est.Jimmy Abad							1	1										
Simulación del Diseño y Codificación	Simular resultados de la producción de la materia prima a base de una medida establecida de racimos de uva.	Est.Fernando Romero, Est.Jimmy Abad																	1	

XI. PRESUPUESTO

Tabla III
PRESUPUESTO.
FUENTE: LOS AUTORES

PRESUPUESTO DE PROYECTO				
<i>Universidad Politécnica Salesiana de</i>	CAMPUS	CENTENARIO		
<i>Guayaquil</i>	CARRERA	MECATRONICA		
	PERIODO	24-24		
DATOS				
<i>Estudiante Autor(1)</i>	Fernando André Romero Pérez			
<i>Estudiante Autor(2)</i>	Jimmy Hendrix Abad Miranda			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
BIENES				
Solidworks (Uso universitario)	MES	2	\$ 0,10	\$0,20
Flexsim	MES	6	\$ 85,48	\$512,88
Labview	AÑO	1	\$ 510,00	\$510,00
Matlab	Mes	6	\$ 82,00	\$492,00
Desarrollo de Diseño	Mes	6	\$ 50,00	\$300,00
Simulaciones de Prueba	Mes	6	\$ 100,00	\$600,00
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
			SUB-TOTAL	\$2.415,08
			IVA %	\$ 362,26
			TOTAL	\$2.777,34
Términos y condiciones				

XII. CONCLUSIÓN

Entonces podemos afirmar que el modelado de la planta de elaboración de vino en FlexSim permitió evaluar de manera integral todo el proceso de producción, identificando secciones clave donde se pueden agregar mejoras. Nuestra elección de ciertas máquinas, específicamente aquellas de costos bajos y medianos, fue esencial para reducir los costos generales de la planta sin comprometer la calidad del producto final. Estas decisiones permiten una operación eficiente que es competitiva con plantas de elaboración de vino de tamaño mediano, optimizando recursos y asegurando un producto final de alta calidad.

En cuanto al control de temperatura, la implementación de un sistema de control sencillo y efectivo, basado en el método de histeresis, Pudimos demostrar que este método pudo ser superior a otros prototipos más complejos como los sistemas PID y control difuso. Este control no solo facilitó el manejo preciso de la temperatura en el tanque de macerado, sino que también fue esencial para mantener la estabilidad de las condiciones de maceración, cruciales para la extracción óptima de compuestos fenólicos y el desarrollo de las características organolépticas del vino. Su simpleza y su fácil manejo fue lo que se necesitaba para lograr una óptima maceración.

A través de análisis estructurales y térmicos exhaustivos, se ha demostrado que los tres diseños analizados son soluciones altamente eficientes y seguras para la industria vinícola. Cada diseño se ha optimizado para cumplir con los requisitos técnicos y operativos, así como para maximizar la durabilidad y la facilidad de mantenimiento. El uso del acero inoxidable en estos diseños ha sido una elección estratégica porque garantiza la resistencia a la corrosión, la facilidad de limpieza y el cumplimiento de estrictos estándares sanitarios, todos los cuales son esenciales para garantizar la calidad del vino producido. Estos hallazgos confirman que las estructuras creadas no solo satisfacen las demandas actuales de la industria, sino que también están listas para cumplir con las demandas futuras con fiabilidad y eficiencia.

La automatización del control de temperatura mejora la calidad del vino y la eficiencia de la operación. El sistema maximiza las ganancias y la sostenibilidad al reducir el tiempo y la atención de los empleados. Además, el sistema reduce la probabilidad de errores humanos y puede identificar problemas antes de que surjan, lo que puede evitar pérdidas y costos relacionados con la producción inadecuada. Usar este sistema sería como optimizar cada paso del proceso de elaboración de vino. Por ejemplo, el paso de maceración es cuando se utiliza el control de temperatura ideal para extraer los compuestos fenólicos y producir vinos de mejor color, aroma y sabor. Antes de la etapa de maceración, se establece una temperatura fija para asegurar que el mosto esté en la mejor condición posible para mejorar la calidad del producto.

XIII. RECOMENDACIONES

En la sección de diseño, es importante realizar un análisis de cada proceso y ser muy meticuloso al seleccionar el equipo adecuado. Nuestro objetivo principal ha sido la implementación de equipos que, aunque de bajo costo, ofrecen una alta eficiencia operativa. Esto no solo permite automatizar procesos a una escala mediana, sino que también garantiza la optimización de los recursos disponibles, minimizando los gastos sin comprometer la calidad del producto final. Es fundamental tomar mucho en cuenta tanto el rendimiento a largo plazo como la facilidad de mantenimiento de estos equipos, asegurando que la inversión inicial sea recuperada a través de una operación eficiente y sostenible.

Es muy recomendable realizar una calibración tanto del bloque Sine Wave, que representa la temperatura deseada, como de la configuración de la temperatura del ambiental en el sistema, para lograr un control óptimo y eficaz. Este ajuste es crucial para responder de manera adecuada a las variaciones en las condiciones externas, permitiendo que el sistema pueda calentar el mosto en situaciones de bajas temperaturas ambientales o enfriarlo cuando la temperatura externa sea elevada. Además, se sugiere realizar simulaciones previas para verificar la respuesta del sistema en diferentes escenarios, asegurando así que los parámetros de control estén bien configurados y puedan adaptarse de manera dinámica a cambios repentinos en el entorno.

Una manera eficiente de comprobar los resultados de los análisis es realizar diferentes pruebas en varios software así para comparar los resultados de las diferentes plataformas de simulación nos puede ayudar a encontrar errores o inconsistencias en los modelos y garantizar que los resultados sean sólidos y confiables evitando problemas en la integración de cada estructura.

Para la parte de automatización incluir un programa de mantenimiento predictivo que se base en los datos recopilados por los sensores del sistema. Esto implicaría monitorear continuamente el estado de los equipos y realizar mantenimiento antes de que ocurran fallas, lo que podría evitar paradas imprevistas y aumentar la eficiencia general del proceso.

REFERENCIAS

- [1] Avilés, Domínguez, Muños y Sánchez, *Ingeniería de control moderna*. Sahagún, España: Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún, 2018.
- [2] C. Martínez, *Informe sobre la Producción de Vino en 2020*, 2020. dirección: <https://cap.davinsony.com/2020-1/informe/vino.pdf>.
- [3] X. Zhang y C. Qiu, «Research on the development of Wine Tourism Product based on the analysis of the wine tourist behavioral intentions-The case of Dynasty Winery,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, págs. 1439-1442, 2011.
- [4] M. Lamagna, M. Carlucci, D. Groppi y D. A. Garcia, «Social and Economic Impact of a Waste-to-Energy Strategy Applied to the Winemaking Chain: A Case Study in the Italian Countryside,» en *2019 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, Cagliari, Italy, 2019. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8764138>.
- [5] A. Orozco, *Proyecto final*, 2023. dirección: https://repositorio.cetys.mx/bitstream/60000/1102/1/Orozco%20Armando_Proyecto%20final.pdf.
- [6] I. Chrysakis et al., *The MiB System: An interactive storytelling experience in the wine industry*. Corfu, Greece: IEEE, 2022, págs. 7-8. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9904362>.
- [7] M. P. Griffith, «Ancient Wine: The Search for the Origins of Viniculture,» *Economic Botany*, vol. 58, n.º 3, 2004. dirección: [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0488:DFABRE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0488:DFABRE]2.0.CO;2).
- [8] G. M. G. Duarte, *Diseño de una planta de elaboración de vinos tintos por maceración carbónica*, 2013. dirección: <http://hdl.handle.net/10498/15579>.
- [9] Q. -. Huynh, C. -. Nguyen, H. -. Vo-Nguyen, H. -. Le, D. -. -. Le y V. -. Nguyen, «Identification of the Damages Caused by Diseases on Fresh Destemmed Chili Fruits,» *2020 12th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, 2020. dirección: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9287653>.
- [10] A. Zinnai, F. Venturi y G. Andrich, «Cold maceration in production of high quality wine,» *First International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area*, 2006.
- [11] D. C. Ranasinghe, N. J. G. Falkner, P. Chao y W. Hao, «Wireless sensing platform for remote monitoring and control of wine fermentation,» *IEEE Access*, págs. 503-508, 2013. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6529841>.
- [12] M. Lin, L. Ma y B. Yu, «An Efficient and Light-weight Detector for Wine Bottle Defects,» en *2020 16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)*, 2020, págs. 957-962.
- [13] Á. L. Gallego, A. R. Guesalaga, E. Bordeu y Á. S. Gonzalez, «Rapid Measurement of Phenolics Compounds in Red Wine Using Raman Spectroscopy,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, n.º 2, págs. 507-512, 2011.
- [14] G. Anastasi, O. Farruggia, G. L. Re y M. Ortolani, «Monitoring High-Quality Wine Production using Wireless Sensor Networks,» *IEEE Access*, 2009. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4755823>.
- [15] V. Hristov y D. Slavov, «Automated Control of Pasteurization in Wine Production,» *IEEE Access*, 2021. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9461346>.
- [16] Criolla Wine, «¿Qué es la maceración carbónica y por qué la amamos tanto?» *Criolla Wine*, abril de 2023. dirección: <https://criollawine.com.ar/2023/04/03/que-es-la-maceracion-carbonica-y-por-que-la-amamos-tanto/>.
- [17] M. Angelova, D. Pastarmadzhieva, G. Dimitrova y P. Georgiev, «Innovative Practices in Wine Industry: Opportunities for Competitiveness Enhancement in Bulgaria,» en *2019 International Conference CREBUS*, 2019, págs. 1-6.
- [18] E. Cañete-Carmona, J. -. Gallego-Martínez, C. Martín, M. Brox, J. -. Luna-Rodríguez y J. Moreno, «A Low-Cost IoT Device to Monitor in Real-Time Wine Alcoholic Fermentation Evolution Through CO2 Emissions,» *IEEE Sensors Journal*, 2020.

- [19] S. V. Kozlov y A. N. Kubankov, «Systematization and Synchronization of Target Processes in Organizational Systems,» en *2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2023, págs. 1-5.
- [20] D. Albanese, C. Liguori, V. Paciello y A. Pietrosanto, «Biosensors in automatic measurements: An application to winemaking monitoring,» en *2010 IEEE Instrumentation Measurement Technology Conference Proceedings*, 2010, págs. 568-573.
- [21] X. Zhang y C. Qiu, «Research on the development of Wine Tourism Product based on the analysis of the wine tourist behavioral intentions-The case of Dynasty Winery,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, págs. 1439-1442, 2011.
- [22] Tecnovino. «¿Qué tendencias digitales se están aplicando en el sector vitivinícola?» (abril de 2023), dirección: <https://www.tecnovino.com/que-tendencias-digitales-se-estan-aplicando-en-el-sector-vitivinicola/>.
- [23] A. Can y R. E. Bayram Mustafa, «Antioxidant phenolic compounds of pomegranate wines produced by different maceration methods,» *Journal of the Institute of Brewing*, vol. 124, n.º 1, págs. 38-44, 2018.
- [24] Acenología, «Ciencia: Avances y estudios en enología,» *Acenología*, 2023. dirección: https://www.acenologia.com/ciencia102_2/.
- [25] V. N. Khmelev, S. N. Tsyganok, R. V. Barsukov et al., *Studying of ultrasonic treatment effect on sea-buckthorn wine clarification*, 2011. DOI: 10.1109/EDM.2011.6006965.
- [26] C. H. Shim e I. S. Lee, «Classification of french red wines and monitoring of wine ageing with a portable electronic nose,» en *2021 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, 2021, págs. 1-4. DOI: 10.1109/ICEIC51217.2021.9369738.
- [27] J. J. Sánchez-Gil, E. Cañete-Carmona, M. Brox et al., «An Electronic Barrel Bung to Wirelessly Monitor the Biological Aging Process of Fino Sherry Wine,» *IEEE Access*, vol. 12, págs. 35 337-35 350, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3372000.
- [28] R. Millán, *Aficiones: Vino*, 2023. dirección: <https://www.ramonmillan.com/aficiones/vino.php>.
- [29] V. Maraš, T. Popović, S. Gajinov et al., *Precision Viticulture Using Wireless Sensor Network*, 2020. DOI: 10.1109/MECO49872.2020.9134174.
- [30] G. V, V. P, P. P, A. B T, V. P y S. R. M, «Edge Computing Enabled Smart Warehouse Management System for Food Processing Industries,» en *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 2023, págs. 1-7. DOI: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10308398.
- [31] N. S. Kom, E. S. Novela y H. Scherly, «Marketing mix analysis that influence the purchasing decisions of wine in DKI Jakarta and Tangerang,» en *2016 11th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS)*, 2016, págs. 1-5.
- [32] Interempresas, *Incrementar valor y reparto equitativo: principales objetivos del sector vitivinícola*, 2023. dirección: <https://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/395687-Incrementar-valor-y-reparto-equitativo-principales-objetivos-del-sector-vitivinicola.html>.
- [33] C. Nigischer, F. Reiterer, S. Bougain y M. Grafinger, «Finding the proper level of detail to achieve sufficient model fidelity using FlexSim: An industrial use case,» *Procedia CIRP*, vol. 119, págs. 1240-1245, 2023, The 33rd CIRP Design Conference, ISSN: 2212-8271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.192>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123006455>.
- [34] S. G. L. Corné J. Coetzee, «The destemming of grapes: Experiments and discrete element modelling,» *Biosystems Engineering*, vol. 114, n.º 3, págs. 232-248, 2013, ISSN: 1537-5110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.12.014>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012002255>.
- [35] P. Catania, F. Bono, C. De Pasquale y M. Vallone, «Closed tank pneumatic press application to improve Sauvignon Blanc wine quality and nutraceutical properties,» *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 50, n.º 4, págs. 159-165, nov. de 2019, Copyright - © 2019. This work is published under <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> (the “License”).
- [36] E. Schmidt, «Tendencias y prácticas de sostenibilidad en la producción de vino en América Latina: El caso de Chile, Argentina y Uruguay,» *Revista de Ciencias Sociales (RCS)*, vol. 26, n.º 4, págs. 45-58, 2020.

dirección: <https://www.proquest.com/docview/2408286410?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Scholarly/%20Journals>.

- [37] I. Lukić, I. Horvat, S. Radeka et al., «Wine proteome after partial clarification during fermentation reveals differential efficiency of various bentonite types,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 126, pág. 105 889, 2024, ISSN: 0889-1575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105889>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157523007639>.
- [38] R. López-Solís, P. Osorio-Umaña, M. Medel-Marabolí y E. Obreque-Slier, «Comparative analysis of the evolution of phenolic profiles during wood aging of a Carménère wine using novel products or procedures aimed at re-using oak barrels,» *Food Bioscience*, vol. 57, pág. 103 623, 2024, ISSN: 2212-4292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103623>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429224000531>.
- [39] D. Systèmes, *Diseño mecánico en 3D*, Accedido: 20-08-2024, 2024. dirección: <https://www.3ds.com/es/>.
- [40] N. Instruments, *Diseño de Planta Automatizada*, Accedido: 20-08-2024, 2024. dirección: <https://www.ni.com/es.html>.

XIV. ANEXOS

XIV-A. modelo de la planta de elaboración

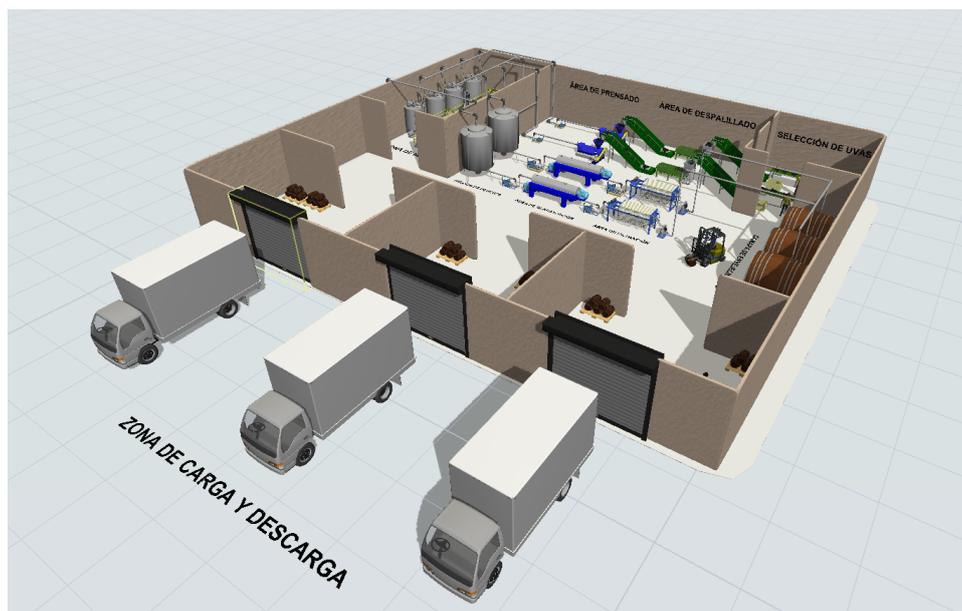


Figura 62. Planta de elaboración de vinos
Fuente:Autores

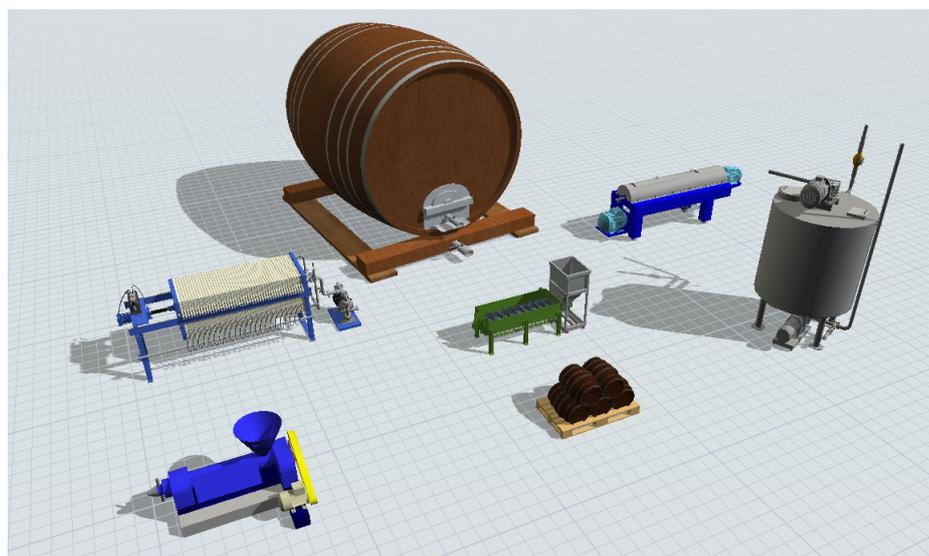


Figura 63. Maquinas esenciales para la planta de elaboración de vino
Fuente:Autores

XIV-B. Simulaciones de control

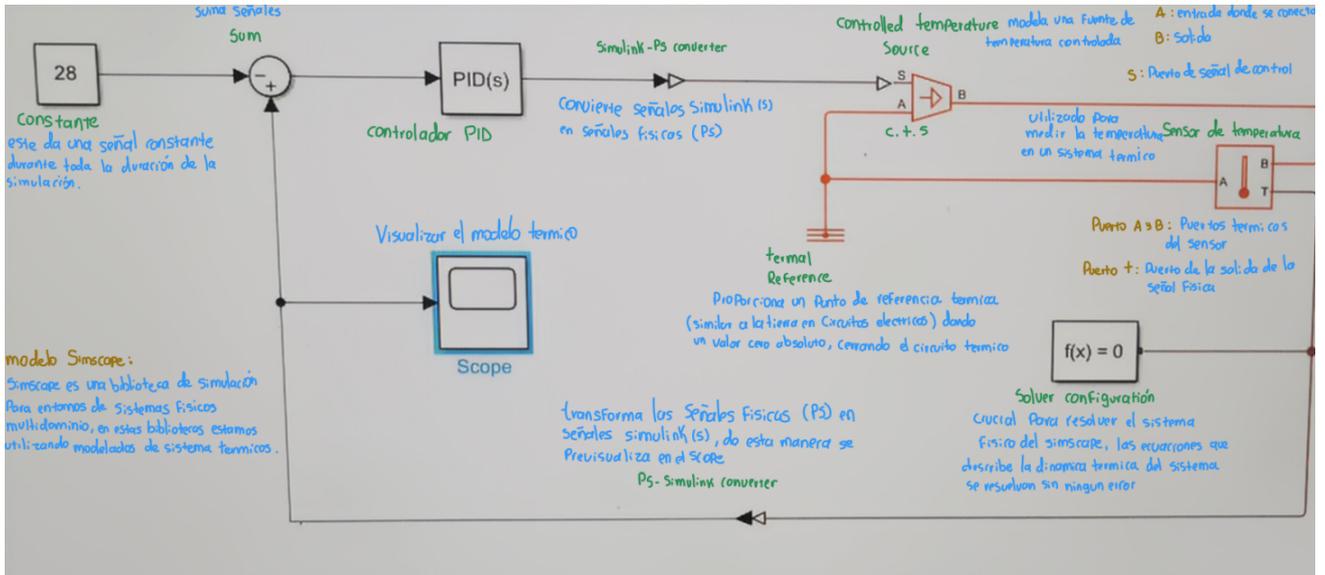


Figura 64. Diagrama de bloques prototipo PID
Fuente:Autores

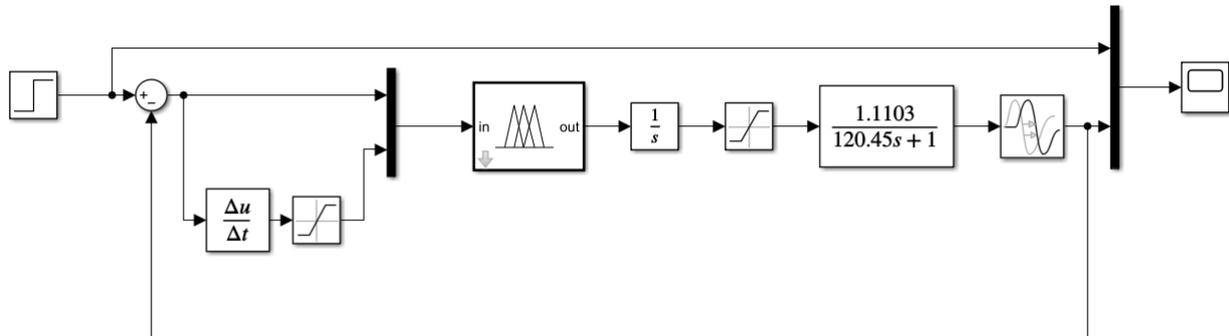


Figura 65. Diagrama de bloques prototipo control difuso
Fuente:Autores

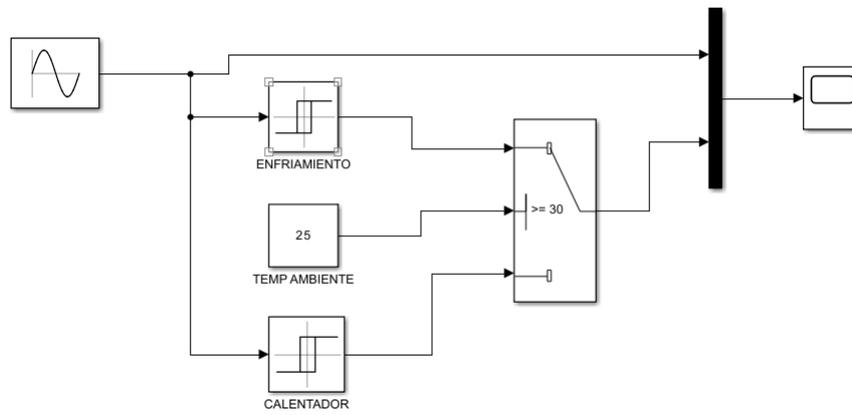


Figura 66. Diagrama de bloques control por hysteresis on/off
Fuente:Autores

XIV-C. Planos

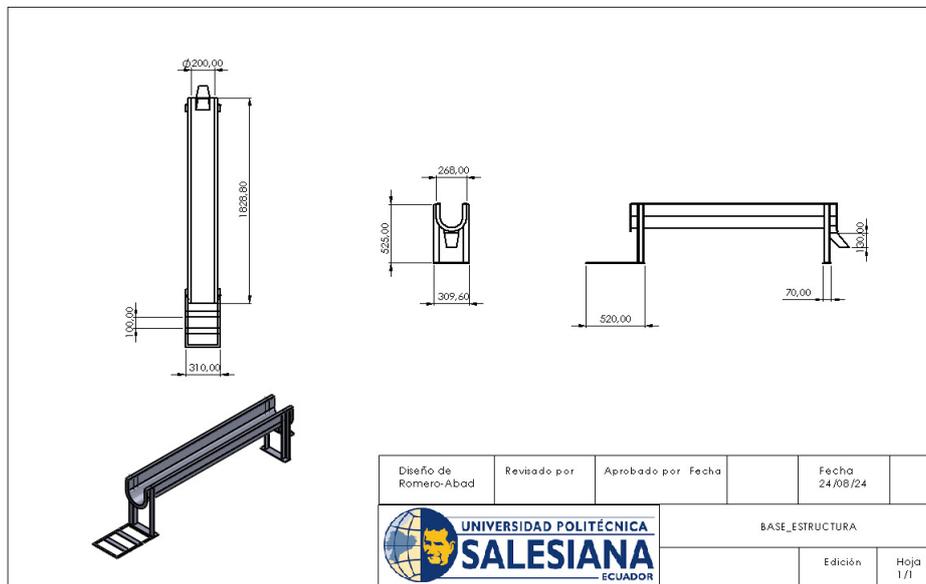


Figura 67. Plano Base
Fuente:Autores

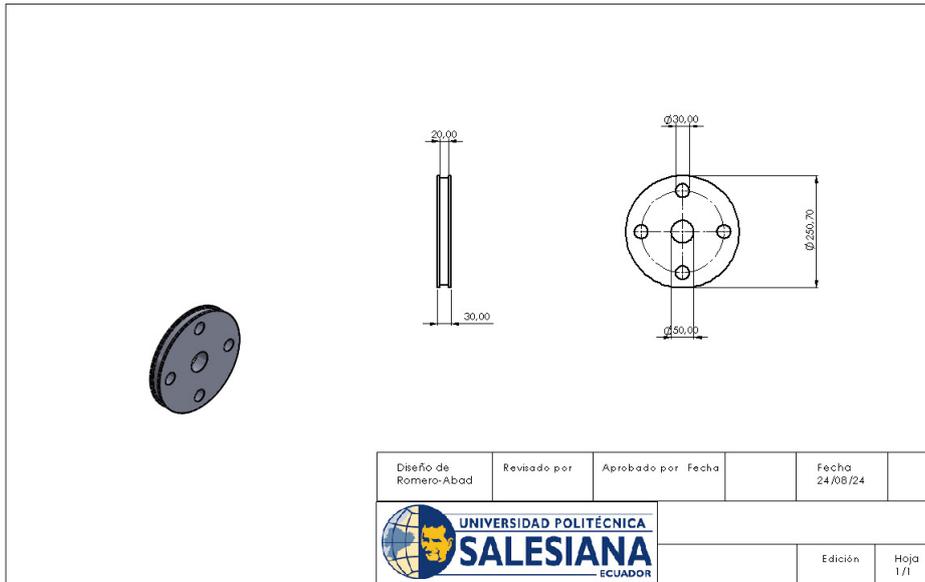


Figura 68. Plano Brida
Fuente:Autores

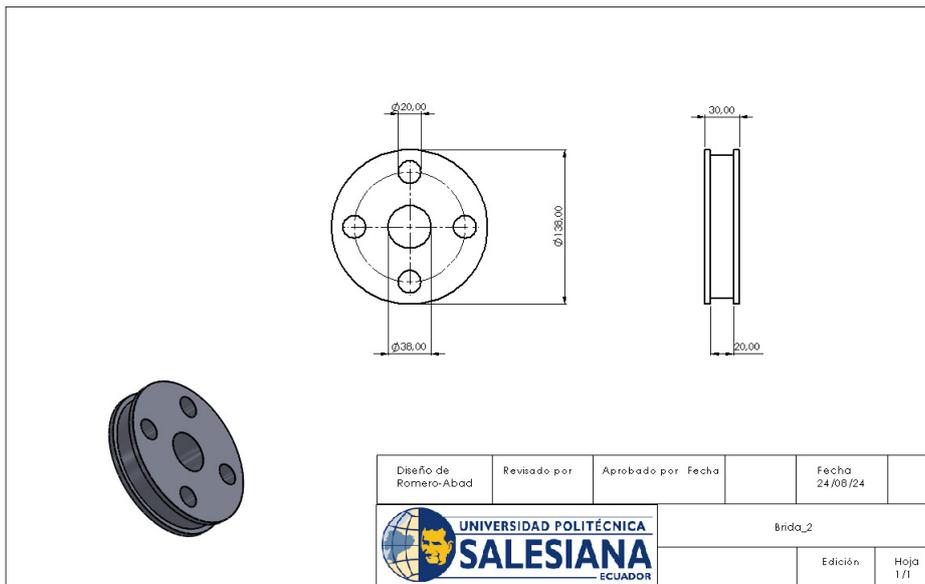


Figura 69. Plano Brida 2
Fuente:Autores

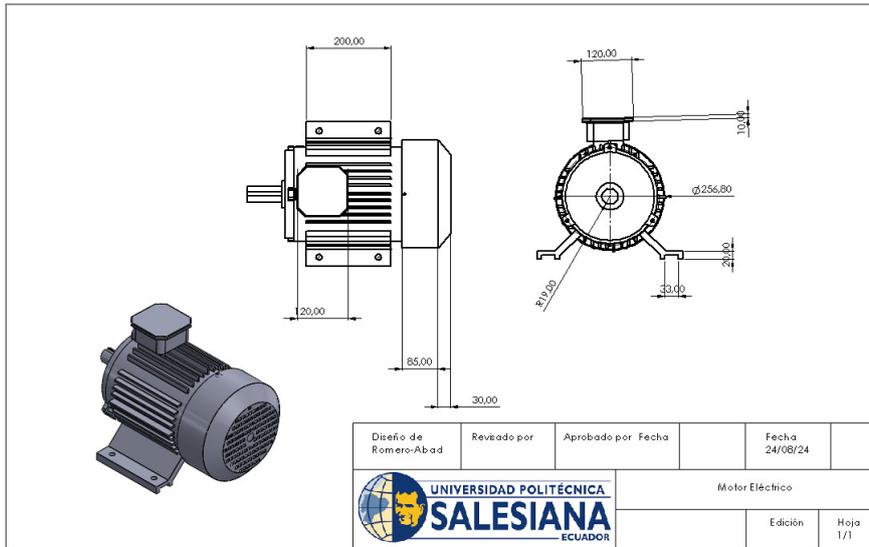


Figura 70. Plano Motor
Fuente:Autores

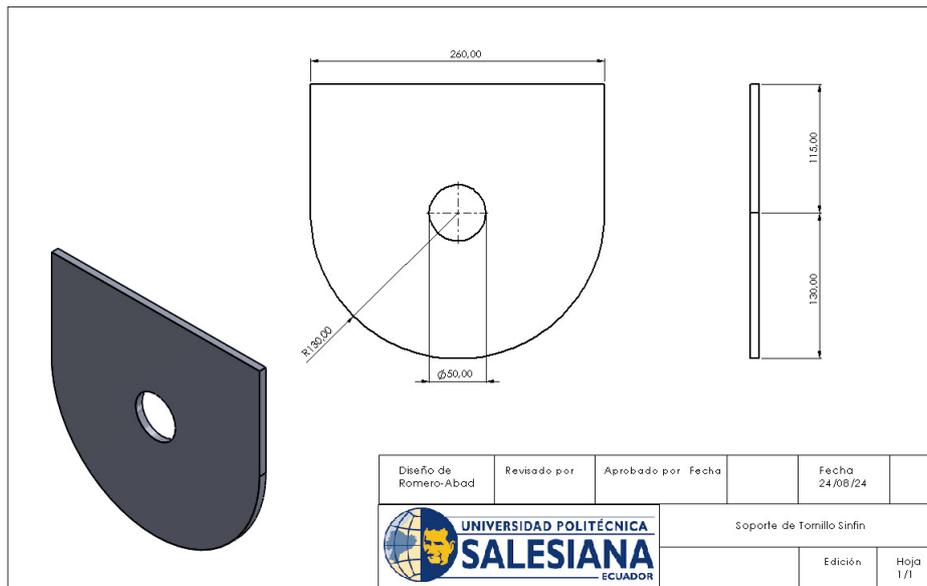


Figura 71. Plano Brida
Fuente:Autores

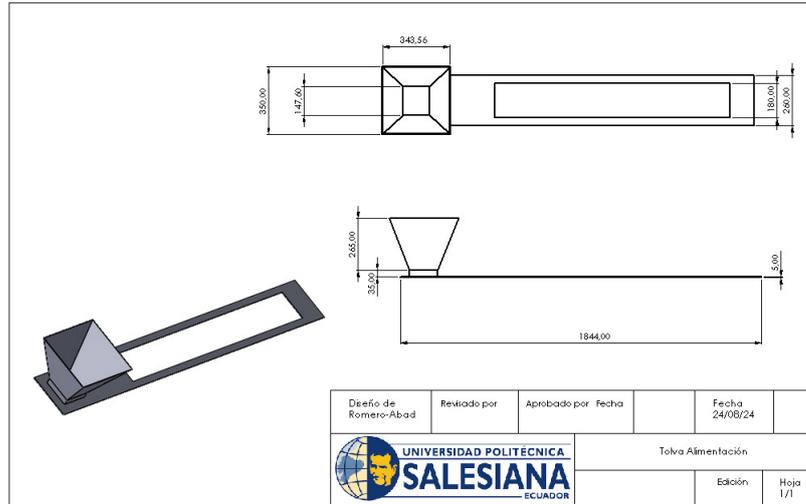


Figura 72. Plano Tolva de Alimentación
Fuente:Autores

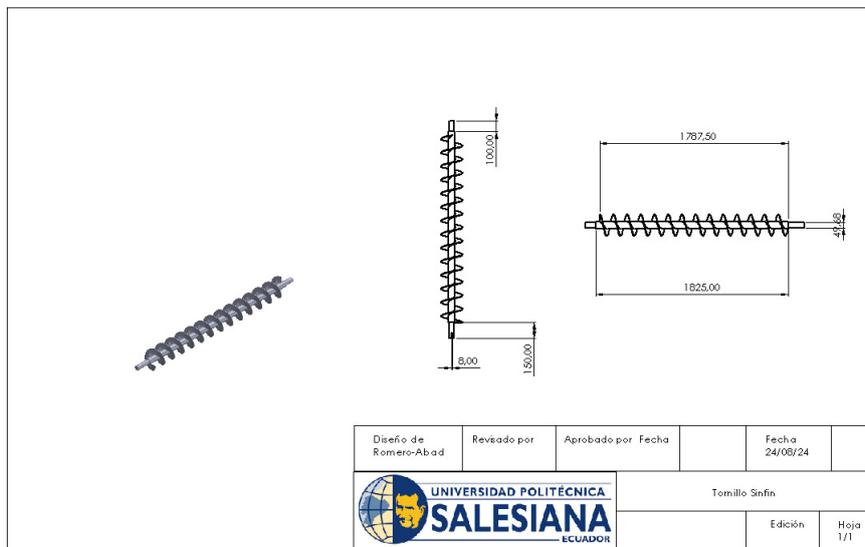


Figura 73. Plano Tornillo Sinfín
Fuente:Autores

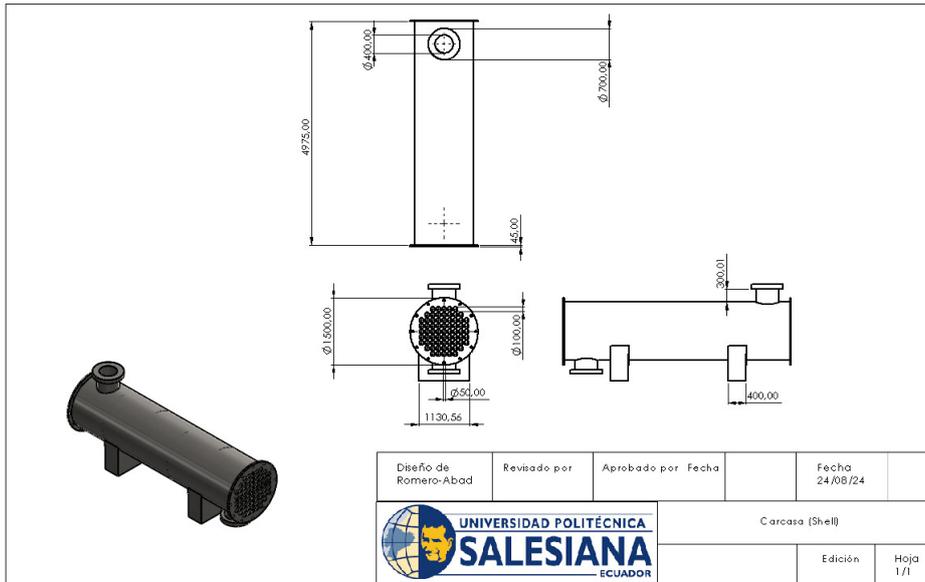


Figura 74. Cáscara
Fuente:Autores

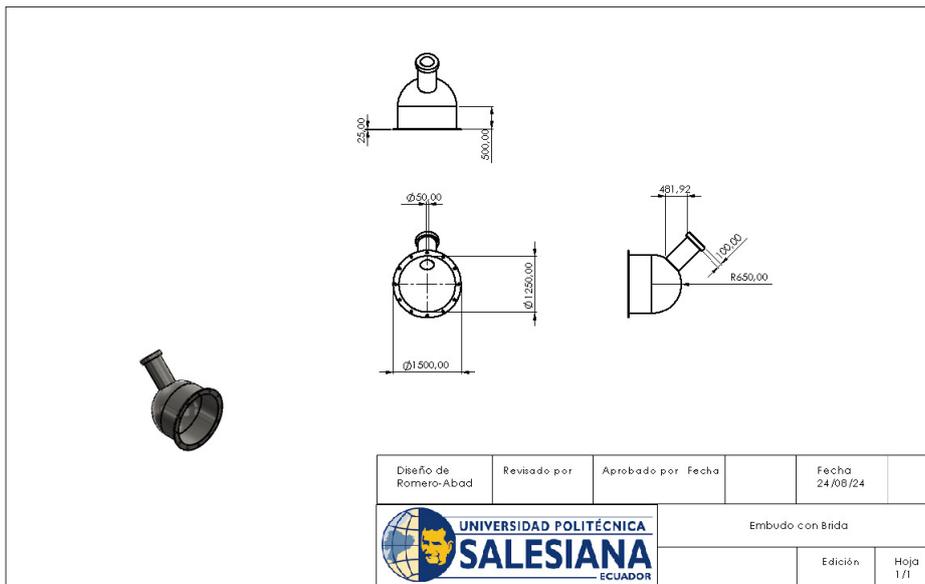


Figura 75. Embudo con brida
Fuente:Autores

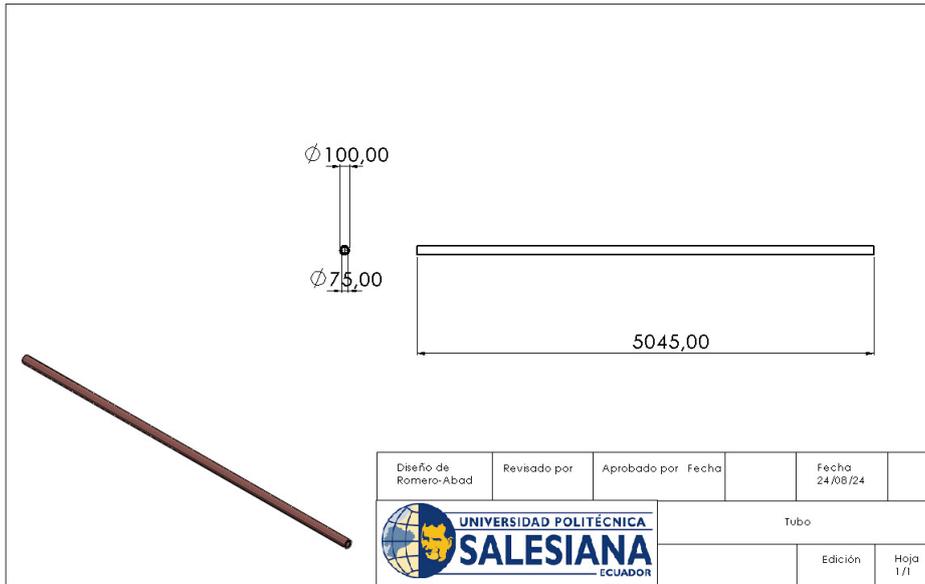


Figura 76. Tubo
Fuente:Autores

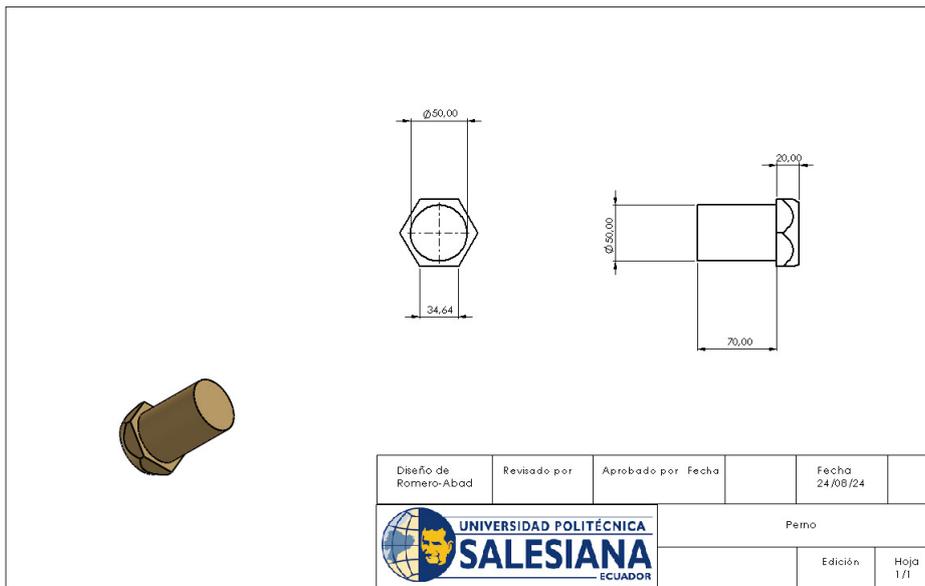


Figura 77. Perno
Fuente:Autores

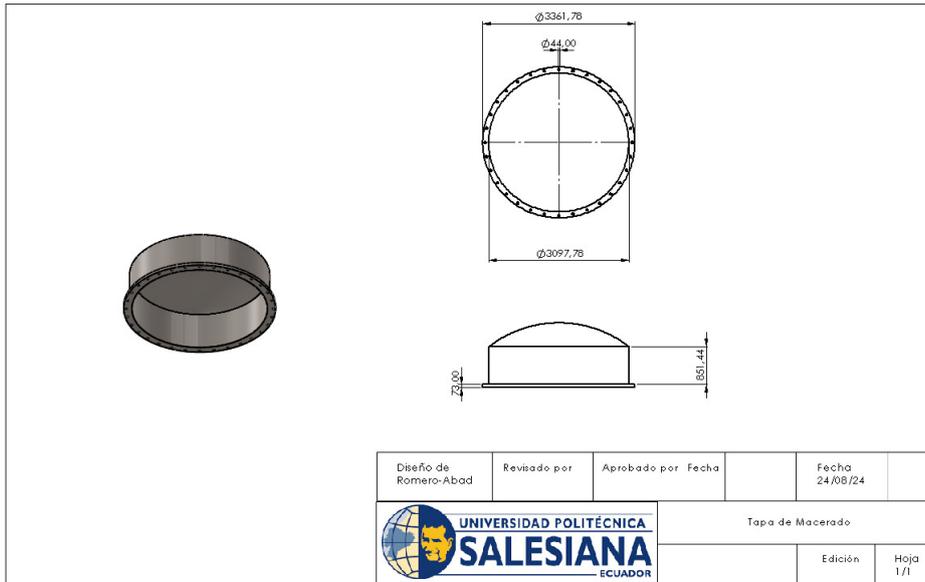


Figura 78. Tapa Macerado
Fuente:Autores

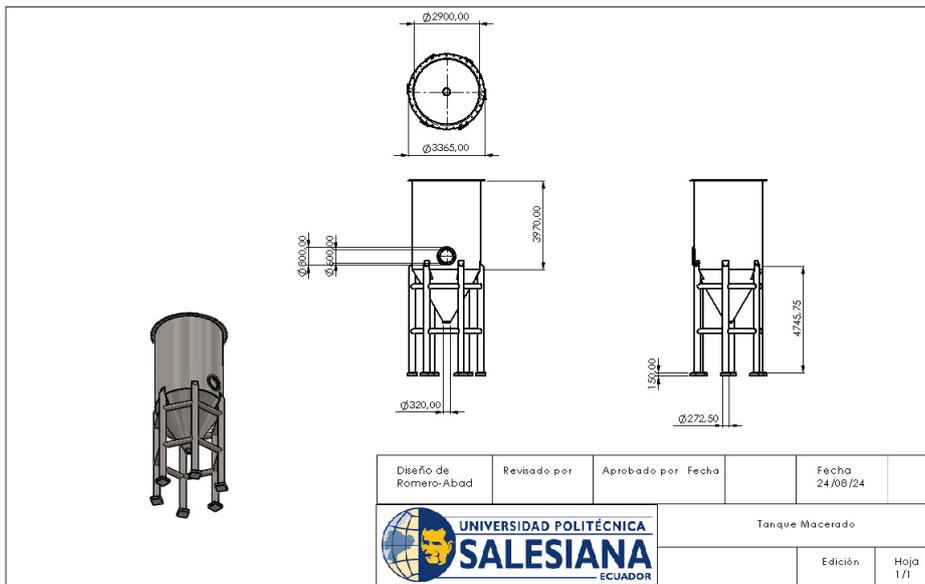


Figura 79. Tapa Macerado
Fuente:Autores

XIV-D. Bloques de Automatización

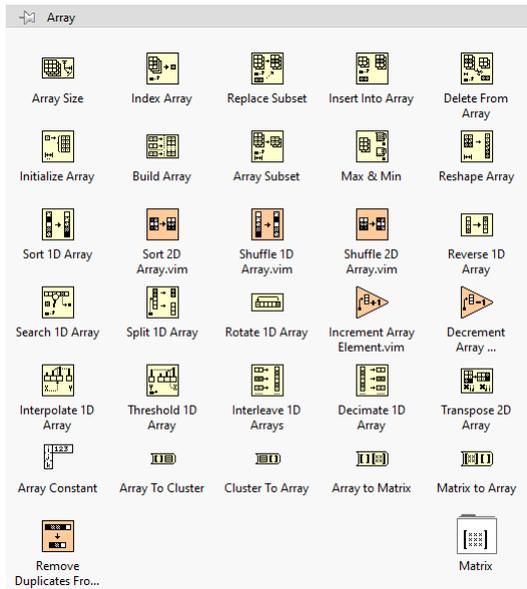


Figura 80. Funciones Array
Fuente:Labview

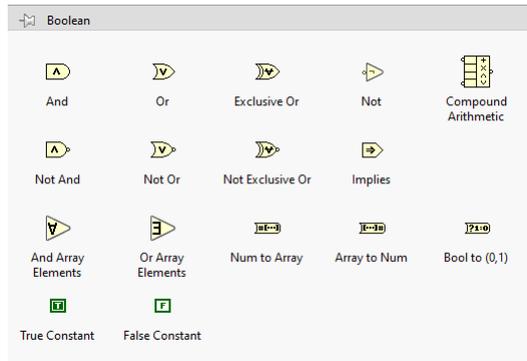


Figura 81. Funciones Booleanas
Fuente:Labview

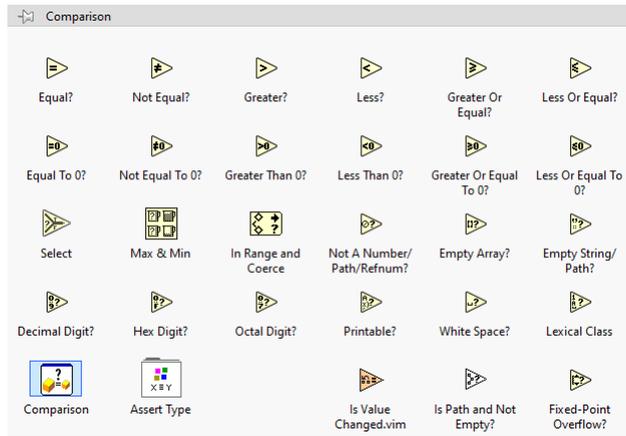


Figura 82. Funciones Comparación

Fuente:Labview

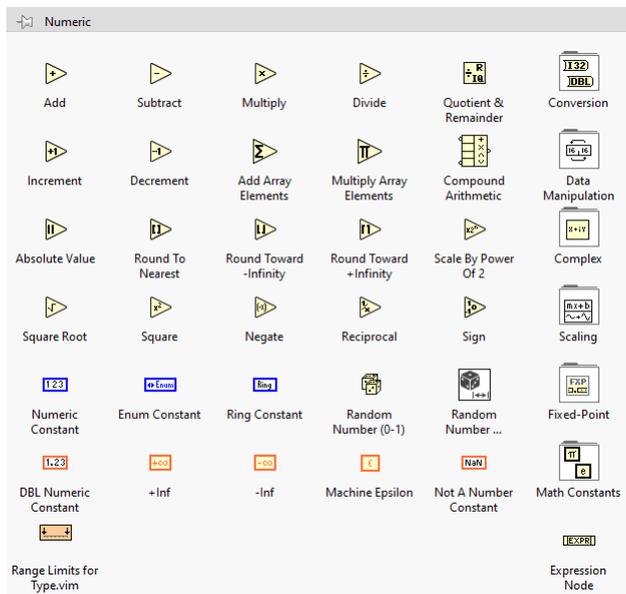


Figura 83. Funciones Numéricas

Fuente:Labview