



Universidad
Mariana

Desarrollo de un sistema de monitoreo y control de una destiladora de bioetanol

Jhoan Stiven Castillo Cabezas
Daniel Andrés Tenganán Palacios

Universidad Mariana
Facultad De Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan De Pasto
2024

Desarrollo de un sistema de monitoreo y control de una destiladora de bioetanol

Jhoan Stiven Castillo Cabezas
Daniel Andrés Tenganán Palacios

Informe de investigación para optar al título de ingeniero mecatrónico

Asesor:
Mag. Ángel Marino López Rubio

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Contenido

Introducción	10
1 Planteamiento del problema.....	12
1.1 Descripción Del Problema	12
1.1.1 Formulación Del Problema.....	14
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 Marco De Referencia	17
1.4.1 Marco De Antecedentes.....	17
1.4.2 Criterio de búsqueda y bases de datos.	22
1.4.3 Vigencia de la temática.....	24
1.4.4 Descripción de artículos.....	26
1.4.5 Descripción de los artículos de los 5 años recientes.	29
1.4.6 Análisis de estudio	32
1.5 Marco Teórico	33
1.5.1 Caña de azúcar	34
1.5.2 Proceso de obtención de etanol.....	37
1.5.3 Sistema de control.....	41
1.5.4 Marco Contextual	49
1.6 Metodología	50
1.6.1 Tipo De Investigación.....	50
1.6.2 Línea de investigación	50
1.6.3 Descripción Metodológica.....	50
1.6.4 Hipótesis	51

2	Resultados	55
2.1	Revisión bibliográfica del proceso de destilación de bioetanol y caracterización las variables que se encuentran en las etapas del proceso.....	55
2.1.1	Que es el etanol.....	55
2.1.2	Sistemas para realizar el proceso de destilación.....	57
2.1.3	Identificación de las variables a controlar durante la automatización del proceso.....	63
2.1.4	Identificación de las especificaciones de desempeño del sistema.	64
2.2	Diseños del sistema para monitorear y controlar la producción de bioetanol en una destiladora.	65
2.2.1	Ideas previas de posibles diseños.....	65
2.2.2	Análisis técnico de los diseños potencialmente factibles.	71
2.2.3	Diseño detallado del prototipo de destiladora de bioetanol.....	73
2.3	Implementación del sistema de monitoreo diseñado en una destiladora de bioetanol comercial	77
2.3.1	Construcción del sistema de acuerdo con el diseño desarrollado.....	77
2.3.2	Diseño y Construcción del Soporte para la Parte Electrónica y el Sistema de Control.....	85
2.3.3	Implementación del sistema de monitoreo en la destiladora	90
2.4	Verificar el funcionamiento del sistema en un entorno controlado.	93
2.4.1	Descripción del entorno controlado.....	95
2.4.2	Procedimiento de verificación	97
2.5	Discusión.....	102
3	Conclusiones	103
4	Recomendaciones.....	104
5	Referencias Bibliográficas	105
6	Anexos.....	110

Índice de Figuras

Figura 1 Sistema de control de una columna de destilación.....	19
Figura 2. Columna de destilación.....	20
Figura 3. Resultados de la búsqueda	23
Figura 4. Resultados de la búsqueda	24
Figura 5. Vigencia del tema con filtros	25
Figura 6. Vigencia del tema con filtros	25
Figura 7. Taxonomía	34
Figura 8. Esquema simplificado de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar	38
Figura 9. Alambique en Funcionamiento	40
Figura 10. Proceso de Destilación Artesanal.....	41
Figura 11. Sensor de temperatura.....	42
Figura 12. Presión absoluta	46
Figura 13. Presión manométrica.....	47
Figura 14. Presión diferencial.....	48
Figura 15. Destilación simple.....	56
Figura 16. Proceso de obtención del etanol.....	57
Figura 17. Esquema del depósito de Fermentación.....	58
Figura 18. Esquema de la unidad de destilación	59
Figura 19. Esquema general del proceso	60
Figura 20. Sistema de destilación de una columna.....	61
Figura 21. Esquema de Sistema de destilación de una columna	62
Figura 22. Temperatura en proceso de destilado.....	64
Figura 23 Alternativa 1	67
Figura 24. Alternativa 2.....	69
Figura 25. Alternativa 3.....	71
Figura 26. Análisis estático	74
Figura 27. Soporte de servomotor y válvula.....	76
Figura 28. Acople de unión de servomotor y válvula.....	77
Figura 29. Trabajo en lámina para la estufa.	78

Figura 30. Soporte tubos para el prototipo	79
Figura 31. Estructura final	82
Figura 32. Estructura de panel de control.....	83
Figura 33. Servoválvula.....	84
Figura 34. Pruebas con caudalímetro y Servoválvula	87
Figura 35. Diagrama de control.....	88
Figura 36. Formula del controlador.....	89
Figura 37. Montaje eléctrico del circuito en general	91
Figura 38. Resultado final e implementación.....	92
Figura 39. Diagrama de control.....	97
Figura 40. Resultados de encuesta.....	99

Índice de Tablas

Tabla 1 Criterio de búsqueda.....	23
Tabla 2. Artículos más citados en la historia.....	26
Tabla 3. Artículos de los 5 años recientes	29
Tabla 4. Propiedades físicas del bioetanol.....	36
Tabla 5. Propiedades químicas	37
Tabla 6. Propiedades termoquímicas.....	37
Tabla 7. Variables por controlar	63
Tabla 8. Especificaciones de desempeño del sistema.....	65
Tabla 9. Especificaciones de alternativa 1.....	66
Tabla 10. Especificaciones de alternativa 2.....	68
Tabla 11. Especificaciones de alternativa 3.....	70
Tabla 12. Análisis técnico de los diseños	72
Tabla 13. Selección del mejor diseño mediante una matriz.	72
Tabla 14. Pruebas realizadas	95
Tabla 15. Análisis Sensorial	100
Tabla 16. Análisis de pruebas de destilado.....	100

Índice de Anexos

Anexo 1. Plano completo de destiladora completa	110
Anexo 2. Plano estufa.....	111
Anexo 3. Plano olla destiladora.....	112
Anexo 4. Plano soporte de panel de control	113
Anexo 5. Soporte servomotor y válvula	114
Anexo 6. Acople de unión eje servomotor y palanca de abertura y cierre	115
Anexo 7. Proceso soldadura soporte.....	116
Anexo 8. Doblado de lámina como superficie para la parte superior.....	117
Anexo 9. Proceso de ajustes previos antes de unir con remaches la superficie a estructura...	118
Anexo 10. Destiladora de 2 ollas.....	119
Anexo 11. Plano eléctrico de panel completo	120
Anexo 12. Diagrama de flujo	121
Anexo 13. Primeras pruebas de funcionamiento e integración	122
Anexo 14. producto 1 y producto 2 y componentes usados para las medidas	123
Anexo 15. Medidas del producto 1.....	124
Anexo 16. Medidas del producto 2.....	125
Anexo 17. Listado de materiales	126
Anexo 18. Diseño electrónico del sistema.....	127

Introducción

La imperativa necesidad de facilitar las labores industriales ha propiciado una transformación radical en el paradigma productivo, enfocándose hacia la integración de tecnologías autónomas en maquinaria. Este enfoque innovador tiene como objetivo principal redefinir los procesos industriales, sustituyendo la intervención laboral directa por la supervisión automatizada de dichos procedimientos. La implementación de tecnologías en el sector industrial no solo se erige como una estrategia para optimizar los procesos de producción, sino también como un medio para elevar la calidad de los productos, fundamentales para sostener la competitividad en un mercado dinámico y desafiante.

El presente estudio se centra en la concreción de esta visión innovadora mediante la propuesta de un sistema de control y monitoreo específicamente diseñado para supervisar el proceso de producción de etanol. Este enfoque selectivo de automatización se justifica en la imperante necesidad de eliminar las etapas manuales del proceso, al tiempo que se persigue la reducción de costos asociados.

El desarrollo de este sistema de control y monitoreo reviste particular importancia en el contexto de la producción de etanol, sustancia obtenida a partir de la materia prima primordial que es la caña de azúcar. Dicha materia prima, al ser sometida a diversos procesos, demanda un seguimiento meticuloso para asegurar la constancia de la temperatura durante la destilación, siendo este uno de los aspectos críticos para garantizar la calidad del producto final.

El propósito fundamental de este proyecto es mejorar sustancialmente el proceso de producción de etanol, no solo desde la perspectiva de la eficiencia y la reducción de costos, sino también con el objetivo de elevar los estándares de calidad del producto resultante. La integración de elementos de automatización cuidadosamente seleccionados se erige como la piedra angular de esta iniciativa, buscando no solo optimizar el rendimiento, sino también propiciar un impacto positivo en la sostenibilidad y competitividad del proceso industrial de producción de etanol derivado de la caña de azúcar.

En última instancia, este proyecto aspira a contribuir al progreso tecnológico y económico de la región, ofreciendo una solución innovadora y eficaz para los desafíos inherentes a la producción de etanol, al tiempo que promueve prácticas industriales más seguras, sostenibles y rentables.

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción Del Problema

El bioetanol o etanol es obtenido a partir de la caña de azúcar y de otros tipos de frutas, la cual es procesada y se fermenta de manera que los azúcares propios de la materia prima empleada se descompongan ante la presencia de bacterias que se encuentran presentes en levadura y después por la destilación se refina en bioetanol de alta pureza, este producto de la fermentación alcohólica.

Actualmente, el bioetanol se encuentra como el biocombustible de mayor producción a nivel mundial, ya que el mercado se encuentra dominado por productores como Brasil, a partir de caña de azúcar y EEUU a partir de almidón de maíz; pero también es obtenido a partir de otros cultivos como la remolacha y el cereal, o reciclado de residuos forestales, por su alto contenido de celulosa, aunque debido a esto, requiere un tratamiento previo de hidrólisis (Di Carlo, Puyol, & Vazquez Werhrhahne, 2018).

La Humanidad ha inducido la búsqueda de combustibles alternativos como el etanol, a pesar de esto en Colombia no es muy llamativo, sin embargo, en varios países se usa el etanol producido desde caña de azúcar y maíz mezclado con la gasolina, como combustible para los vehículos de transporte. Esto ha disminuido la generación de contaminantes y la dependencia de los precios internacionales del petróleo, sobre todo en países que no lo producen. Para producir etanol se buscan materias primas de bajo costo como los residuos lignocelulósicos, cultivos agrícolas con alto contenido de almidón, algas y otras fuentes (Gómez & Pérez, 2018).

En el departamento de Nariño el cultivo de la caña de azúcar para la producción de panela tiene una gran importancia en 12 de sus municipios, siendo el renglón más importante en la economía de ocho de ellos los cuales son: Ancia, El Tambo, Sandoná, lineares, Consaca, Samaniego, Ricaurte y Mallama. Nariño ocupa el sexto lugar de participación en el área

sembrada de caña de azúcar para la producción de panela en el país en un área aproximada de 17.500 hectáreas (Instituto Colombiano Agropecuario, ICA., 2019).

Nariño ocupa el sexto lugar en la producción de caña de azúcar, siendo la panela uno de los principales productos que se elaboran con esta planta, sin embargo, en algunas temporadas del año debido a los bajos precios de la panela, muchas familias realizan procesos artesanales de destilación para obtener alcohol etílico, en la mayoría de los casos, para el proceso de destilación se utiliza un tanque metálico comercial, este al ser una herramienta artesanal no cuenta con los sistema de monitoreo y control de sus variables, la ausencia de estos controles de variables no permiten tener en cuenta la temperatura empleada durante el proceso de destilación, obteniendo un producto defectuoso que puede llegar a causar ceguera en los consumidores y en otras ocasionando explosiones en el tanque que se está manipulando poniendo en riesgo la integridad de las personas que lo manipulan.

Y es que a pesar de someter el producto a múltiples procesos de redestilación al inicio y al final, el resultado inhibido no logra eliminar de manera efectiva la presencia de otros alcoholes perjudiciales como el isobutano, butano y, especialmente, el metanol, que es el más nocivo de todos. Estos compuestos alcohólicos dañinos intensifican los síntomas de la resaca, afectan la salud y, en casos extremos, pueden provocar problemas de visión e incluso resultar letales. (Barrios Quiroga, 2019).

También, (Roldan, Fracua, & Dueñas, 2003), lo mencionan en su artículo intoxicación por alcoholes, el metanol, como disolvente y su presencia como adulterante en bebidas alcohólicas plantea un grave riesgo para la salud, especialmente cuando la intoxicación ocurre por vía oral, siendo esta la forma más común de exposición. Los síntomas clínicos predominantes abarcan cefalea, náuseas, vómitos, hipotensión y depresión del sistema nervioso central. Destaca la vulnerabilidad del nervio óptico, lo que puede resultar en la manifestación de una ceguera total e irreversible. Por otro lado, el etilenglicol, empleado como disolvente y anticongelante, presenta toxicidad derivada de la acumulación de sus metabolitos. Los síntomas clínicos coinciden en gran medida con los de la intoxicación metflica. Además, la exposición al etilenglicol puede conllevar a un fallo renal por necrosis tubular y la formación de depósitos de cristales de oxalato.

La adquisición de destilados de origen dudoso se erige como una práctica de alto riesgo. Este comportamiento no solo amenaza la calidad de la bebida, sino que también pone en peligro la salud visual y la vida misma de quienes consumen estos productos adulterados.

Durante el proceso de destilado hay riesgos laborales que durante los métodos artesanales son evidenciables, de los cuales (Paguay García, 2016) menciona en su tesis, la amenaza latente de explosiones se manifiesta en el proceso de evaporación de la chicha, donde el alambique se encuentra sometido a condiciones de alta presión al estar expuesto al calor directo del fuego. Como medida de precaución ante esta situación potencialmente peligrosa, se implementa el uso de tapones diseñados específicamente para detonar en caso de una explosión inminente. Estos tapones no solo actúan como dispositivos de seguridad cruciales, sino que también subrayan la importancia de gestionar cuidadosamente las condiciones de presión y temperatura en el proceso de destilación, salvaguardando así la integridad del alambique y, por ende, la seguridad de quienes participan en este proceso.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea realizar este proyecto, dando respuesta a las necesidades en la incorporación de un sistema de monitoreo y control en las biorrefinerías artesanales que contribuya a disminuir fallas en los procesos, además, es importante resaltar que teniendo en cuenta que este proceso de obtención de bioetanol se presenta a partir de la materia prima como lo es la caña de azúcar, contribuye al mejoramiento en esta práctica y se impulsa la economía del sector.

1.1.1 Formulación Del Problema

¿Cómo desarrollar un sistema de monitoreo y control de una destiladora de bioetanol que permita el aprovechamiento de la caña de azúcar?

1.2 Justificación

A nivel nacional, el Departamento de Nariño desempeña un papel significativo en la producción de caña de azúcar, siendo responsable de una considerable extensión de aproximadamente 1 de cada 17,500 hectáreas cultivadas. (Instituto Colombiano Agropecuario, ICA,, 2019).

La comunidad en el departamento de Nariño ha focalizado sus labores principalmente en la elaboración de panela a partir de la caña de azúcar. No obstante, en ciertas épocas del año, debido a la reducción de los precios de la panela, numerosas familias optan por recurrir a métodos artesanales de destilación con la finalidad de producir alcohol etílico. En la mayoría de las instancias, este procedimiento se lleva a cabo mediante la utilización de un recipiente metálico de tipo comercial. Sin embargo, al tratarse de una herramienta de manufactura artesanal, carece de sistemas de supervisión y control de variables.

La falta de controles y la ausencia de variables bien definidas representan una limitación significativa en el proceso de destilación. En particular, la temperatura empleada durante este procedimiento no puede ser adecuadamente supervisada. Este vacío en el monitoreo conlleva a la obtención de un producto defectuoso, el cual, en casos extremos, puede ocasionar daños graves a la salud de los consumidores. La ingestión de un alcohol etílico mal destilado puede resultar en problemas de visión, llegando incluso a causar ceguera.

Adicionalmente, la carencia de sistemas de control adecuados y la falta de supervisión en el proceso de destilación conllevan riesgos tangibles. En algunas instancias, se han reportado incidentes de explosiones en los tanques utilizados para la destilación artesanal. Estas situaciones no solo afectan la calidad del producto final, sino que también ponen en peligro la integridad de las personas involucradas en la manipulación de dichos tanques.

La presente situación destaca la necesidad imperante de implementar un sistema de control y monitoreo en los procesos de destilación artesanal de alcohol etílico. Este enfoque no solo contribuirá a mejorar la calidad del producto final, sino que también garantizará la seguridad de

quienes participan en estos procedimientos, reduciendo así los riesgos asociados a la producción artesanal de alcohol etílico en la región de Nariño.

El presente proyecto se orienta hacia la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real en las biorrefinerías, con el propósito de controlar de manera efectiva las variables críticas en el proceso de producción de bioetanol a partir de la materia prima principal, en este caso, la caña de azúcar. Es imperativo establecer con precisión los distintos pasos del proceso, incluyendo el lavado, la molienda, la clarificación, la fermentación y la destilación, así como las variables clave, tales como masa, temperatura y pH, que inciden directamente en la calidad del bioetanol obtenido. El estudio demuestra la necesidad de evaluar exhaustivamente las características específicas de cada etapa en la obtención del bioetanol, permitiendo así un seguimiento continuo y detallado de dichas fases. Este enfoque riguroso tiene como finalidad garantizar que el biocombustible final cumpla con los parámetros de calidad establecidos. En este sentido, se establecen medidas concretas para asegurar la eficiencia del proceso y la calidad del bioetanol obtenido. Adicionalmente, este proyecto se propone impulsar el desarrollo económico en el Departamento de Nariño, al ofrecer un método que no solo minimice la inversión de tiempo, sino que también maximice los ingresos asociados a la producción de bioetanol. Además, se busca contribuir al uso responsable de recursos renovables, lo cual, en un contexto debidamente regulado, favorece a la preservación del medio ambiente. (Camacho Zarate , Gallego Puentes, & Cañón Palacios, 2020)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo y control para una destiladora de bioetanol a escala de laboratorio que permita el aprovechamiento de la caña de azúcar.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las variables que se encuentran en las etapas del proceso para la obtención de bioetanol.
- Diseñar un sistema que permita monitorear y controlar la producción de bioetanol en una destiladora.
- Implementar el sistema de monitoreo y control diseñado en una destiladora de bioetanol.
- Verificar el funcionamiento del sistema en un entorno controlado.

1.4 Marco De Referencia

1.4.1 Marco De Antecedentes

A continuación, se abarca desde los avances en maquinaria automatizada hasta las investigaciones previas sobre la destilación de alcohol etílico, destacando la importancia de mantener una temperatura constante durante el proceso. Asimismo, se examinan las prácticas actuales en la región de Nariño, donde la destilación artesanal presenta riesgos significativos debido a la falta de sistemas de monitoreo y control. Estos antecedentes respaldan la necesidad de este estudio sobre la implementación de un sistema de control y monitoreo en el proceso de destilación de alcohol etílico, enfocado en mejorar la calidad y seguridad del producto final.

1.4.1.1 Antecedente 1: Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar.

Los autores Miguel A. Otero-Rambla, Roxana García, María C. Pérez, Julio A. Martínez, María C. Vasallo, Gustavo Saura y Daniel Bello llevaron a cabo un estudio con el objetivo de demostrar que la conversión de destilerías de alcohol a partir de melazas a jugos de caña no solo es posible con inversiones mínimas, sino que también incrementa los niveles de explotación de las instalaciones y la producción de alcohol.

Durante el estudio, se produjo etanol a escala de laboratorio, el cual fue destilado directamente y analizado en su composición. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4, donde se observa que la concentración de cada congénere detectado aumenta a medida que el aporte de los jugos de caña a las soluciones de reacción y temperatura del medio aumenta.

Este estudio resalta la viabilidad de la conversión de destilerías de alcohol de melazas a jugos de caña como una estrategia para mejorar la producción de alcohol con inversiones mínimas. Los autores concluyen que esta conversión no solo beneficia la eficiencia de las instalaciones, sino que también contribuye al incremento de la producción de alcohol. (Rambla, y otros, 2009).

1.4.1.2 Antecedente 2: Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura para el proceso de destilación en la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar.

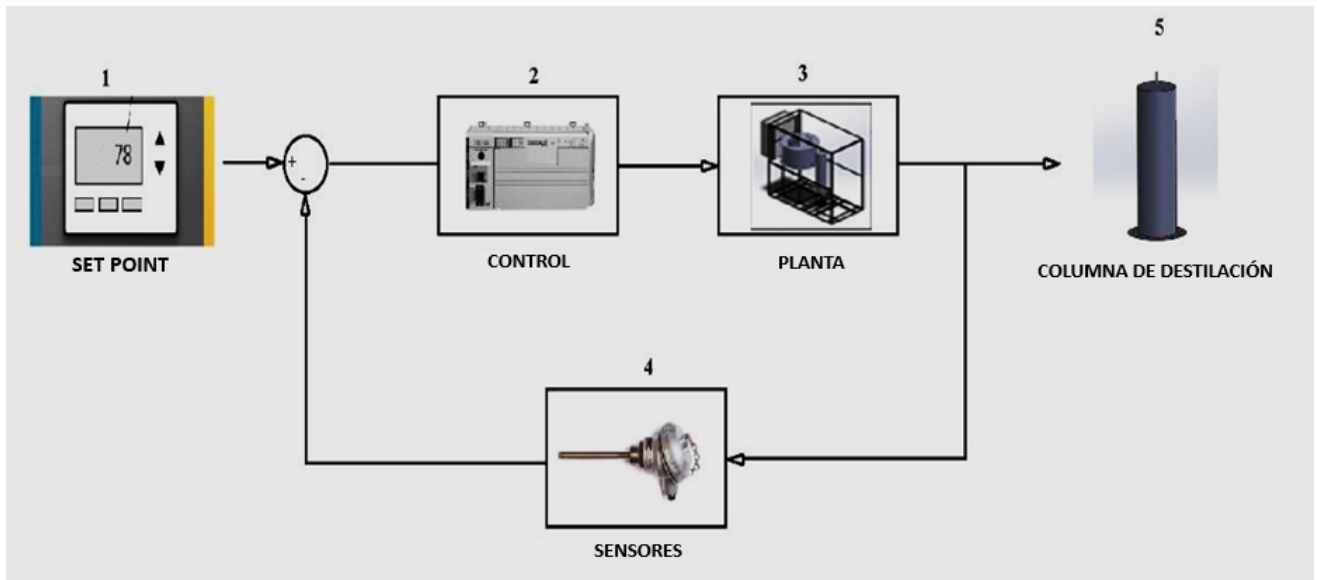
Mayerly Paola Medina Palacio y Eder Alexis Peraza Garzón llevaron a cabo un proyecto con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de control PID para la temperatura del proceso de destilación en un reactor multiproceso.

Durante el desarrollo del proyecto, se observó la importancia de un sensor de referencia de temperatura instalado directamente en la planta. La ausencia de este sensor dificultó la linealización de los sensores de temperatura, lo que pudo causar errores de medición desde el inicio del proyecto, como se evidencia en la Figura 1 y la Figura 2.

Este proyecto destaca la relevancia de contar con un sensor de referencia de temperatura para asegurar la precisión y fiabilidad del sistema de control PID implementado en el proceso de destilación. Los autores concluyen que la correcta instalación y calibración de los sensores de temperatura es crucial para el éxito del sistema de control. (Medina Palacio & Peraza Garzon, 2019).

Figura 1

Sistema de control de una columna de destilación



Fuente: (Medina Palacio & Peraza Garzon, 2019)

Figura 2.

Columna de destilación



Fuente: (Medina Palacio & Peraza Garzon, 2019)

1.4.1.3 Antecedente 3: Implementación de una máquina automatizada destiladora de etanol para disminuir el tiempo del proceso y mejorar la calidad del producto.

La implementación de una máquina automatizada destiladora de etanol en la provincia de Cotopaxi, cantón de Latacunga, parroquia Eloy Alfaro, fue llevada a cabo por Pesantez Álvarez Carlos Mauricio y Pucó Toaquiza Johnny David en el año 2020. El objetivo principal de este proyecto fue mejorar la calidad del producto final mediante la automatización del proceso de destilación, utilizando para ello la programación de Arduino y un lazo cerrado mediante set point.

Durante el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los principales sistemas que garantizan el funcionamiento adecuado de la máquina destiladora. Especial atención se prestó al sistema de control de temperatura, el cual fue conformado por un microcontrolador Arduino. Este sistema permitió monitorear y regular de manera precisa la temperatura durante el proceso de destilación, asegurando así la calidad del producto final.

Los resultados obtenidos demostraron que la implementación de la máquina automatizada destiladora de etanol contribuyó significativamente al mejoramiento de la calidad del producto. La precisión en el control de temperatura, gracias al sistema de Arduino, permitió obtener un

producto final de mayor pureza y consistencia. Además, la automatización del proceso redujo la intervención humana, minimizando posibles errores y aumentando la eficiencia del proceso de destilación.

En conclusión, la implementación de una máquina automatizada destiladora de etanol mediante la programación de Arduino y un lazo cerrado mediante set point representó una solución efectiva para mejorar la calidad del producto final en la producción de etanol en la provincia de Cotopaxi. Los autores (Pesantes Alvarez & Puco Toaquiza, 2020), destacan la importancia de este enfoque tecnológico en la optimización de procesos industriales y la obtención de productos de alta calidad.

1.4.1.4 Antecedente 4: Propuesta de un sistema de monitoreo para la obtención de bioetanol a partir de la caña de azúcar con fines energéticos.

Los autores Camacho Zarate Luis Mauricio, Gallego Puentes Karin Liseth y Cañón Palacios Jonathan Stiven llevaron a cabo un estudio con el objetivo de diseñar un sistema de monitoreo para las etapas de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar, con el fin de caracterizar las variables y evaluar la calidad del producto final.

En las conclusiones del estudio, se destaca que al establecer los procesos (lavado, molienda, clarificación, fermentación, destilación) y las variables (masa, temperatura, pH) que influyen en la calidad del bioetanol, es posible conocer estas variables y sus valores a través del registro y almacenamiento constante de los datos. Este seguimiento continuo permite asegurar que el bioetanol producido cumpla con los parámetros de calidad requeridos.

Este estudio subraya la importancia de contar con un sistema de monitoreo adecuado para controlar las variables críticas en la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar, lo cual garantiza la calidad y consistencia del producto final. (Camacho Zarate , Gallego Puentes, & Cañón Palacios, 2020)

1.4.2 Criterio de búsqueda y bases de datos.

Se utiliza la base de datos scopus donde aplicamos unos criterios de búsqueda con el fin de encontrar 10 artículos los cuales 5 de ellos son de los años más recientes y los otros son de la historia enfocada a sistemas de monitoreo y control de destilación.

Tabla 1

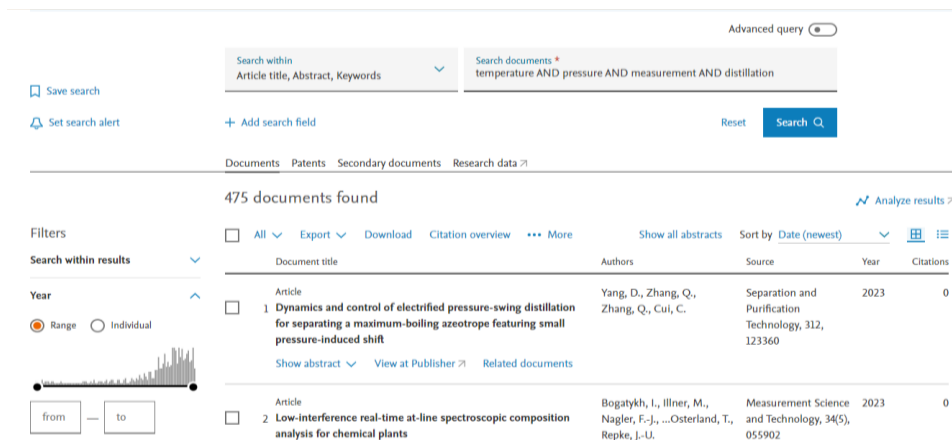
Crerios de búsqueda

Tipo de búsqueda	Año
Crerios de búsqueda	control AND temperature AND pressure AND measurement AND process AND distillation - temperature AND pressure AND measurement AND distillation
Periodo de búsqueda	1979 – 2023
Numero de documentos encontrados sin filtro	60 – 475
Idioma	Solo artículos en ingles
Filtro por área temática	Ingeniería Química
Tipo de documentos	Artículos

En la siguiente Figura 3 se muestra el resultado de la búsqueda con la siguiente palabra clave. Temperature AND pressure AND measurement AND distillation

Figura 3.

Resultados de la búsqueda



Fuente: (Autoría propia).

En la Figura 4 se muestra el resultado de la búsqueda con la siguiente palabra clave. Control AND temperature AND pressure AND measurement AND process AND distillation

Figura 4.

Resultados de la búsqueda

The screenshot shows a search results page with the following elements:

- Notification:** "The new, enhanced version of the search results page is available. Try the new version"
- Search Results:** "60 document results" for the query "TITLE-ABS-KEY (control AND temperature AND pressure AND measurement AND process AND distillation)".
- Actions:** Edit, Save, Set alert
- Refine results:**
 - Open Access: All Open Access (5), Bronze (3), Green (4)
- Document List:**

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Dynamics and control of electrified pressure-swing distillation for separating a maximum-boiling azeotrope featuring small pressure-induced shift	Yang, D., Zhang, Q., Zhang, Q., Cui, C.	2023	Separation and Purification Technology 312,123360	0

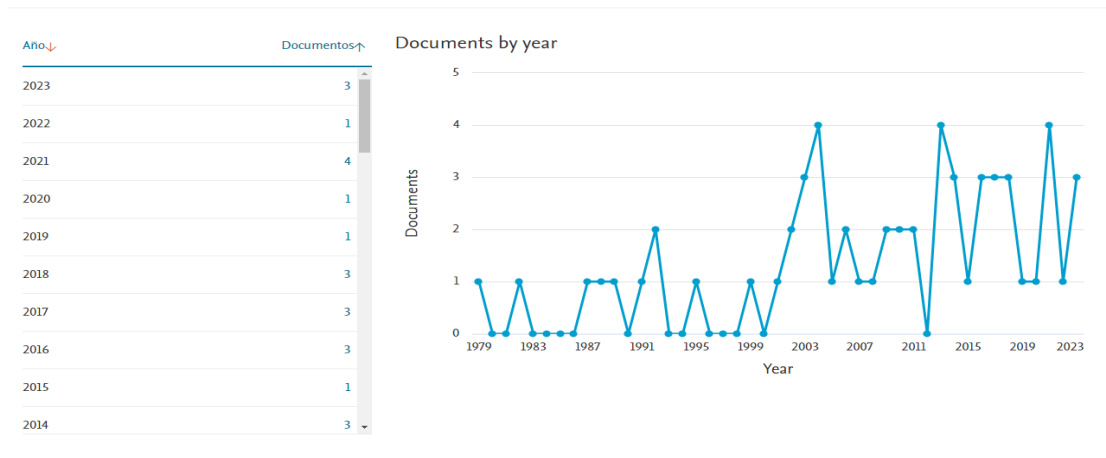
Fuente: (Autoría propia).

1.4.3 Vigencia de la temática

Como se puede observar en la Figura 5 el tema investigado a partir del año 1979 hasta el año 2023 ha estado de manera inestable teniendo en cuenta que en el 1999 incremento y en el 2004 bajo es decir que es te investigado se mantiene de una manera inestable.

Figura 5.

Vigencia del tema con filtros

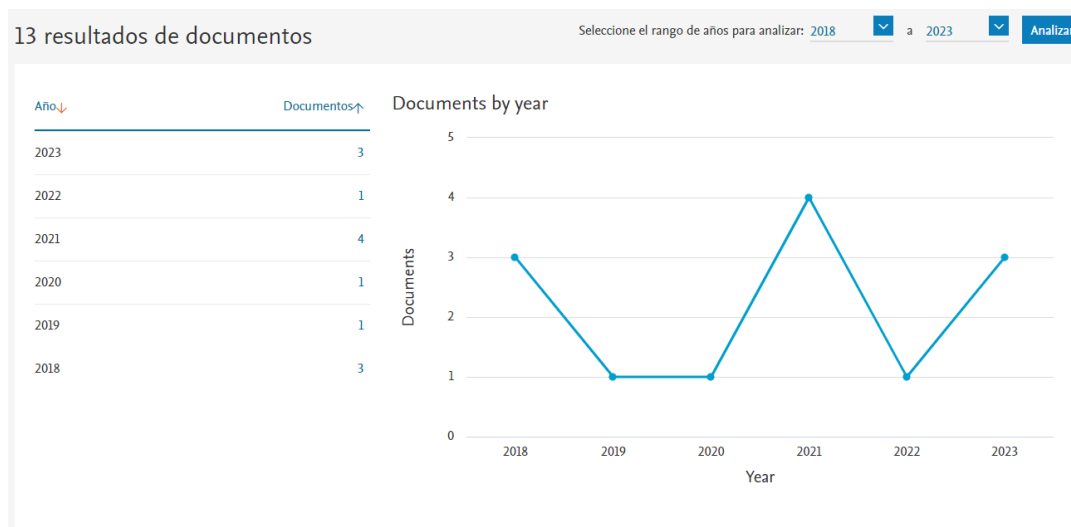


Fuente: (Autoría propia).

A partir de la Figura 6 se puede apreciar el número de publicaciones al aplicar filtros (artículo, inglés y años), con respecto a esto el número de publicaciones más elevado se dio en el año 2021 a partir del año 2020.

Figura 6.

Vigencia del tema con filtros



Fuente: (Autoría propia).

1.4.4 Descripción de artículos

Descripción de los artículos top 5 más citados en la historia.

Tabla 2.

Artículos más citados en la historia

Num ero	Autores y año	Numero de citaciones	Área temática
1	(Guarnición, 1992)	14	Control del proceso y calidad
2	Santos, (2006)	11	Innovación y gestión para el desarrollo sostenible
3	Bruno, Tomas (2009)	31	Energía y combustibles
4	Luyben, William L, (2017)	45	Tecnología de separación y purificación
5	Vinothkumar C, (2017)	2	Farmacia y tecnología

Como podemos evidenciar en la Tabla 2 Según (Guarnición, 1992) en el artículo se habla sobre como con un sistema de control del proceso se puede ayudar minimizar el uso de combustibles en los procesos de destilación comercial teniendo en cuenta la aplicación del control de procesos. A diferencia de la mayoría de los sistemas de control disponibles que utilizan la medición de la temperatura y la presión. En 1988 se inició un proyecto para el Departamento de Energía de EE. UU. En el Centro de Ingeniería de Medición y Control para establecer la utilidad para el análisis de composición en línea en columnas de destilación. Se ha completado la evaluación de laboratorio y la modificación del instrumento. El instrumento actual emplea un láser enfriado por

aire y un detector enfriado termoelectricamente. El dispositivo está montado en un carro de tres por tres pies para una ubicación conveniente en las salas de control. Analizan la ubicación del sensor, fundamental para la aplicación óptima de cualquier dispositivo en línea y también menor uso de energía, y otros beneficios en los incluyen un mayor rendimiento del producto y una calidad más uniforme.

Como podemos evidenciar en la Tabla 2 según (Santos, 2006) en algunos casos de plantas existentes, ya en funcionamiento, del proceso y la simulación puede ayudar a optimizar sus condiciones operación, para la obteniendo de productos de una mejor calidad, así como reducciones en el consumo de combustible y otros procesos en los cuales se puede adquirir pérdidas. Teniendo en cuenta la intención de obtener un mejor manejo miento del sistema y el comportamiento, donde para realizar este proceso se instalaron varios puntos de muestreo dentro de la unidad de destilación de medida para la temperatura, y la presión y valores de caudal, también para la recolección de muestras en la fase líquida esta con el fin de determinar las concentraciones alcohólicas. La unidad de destilación consta de tres columnas de rectificación y limpieza. Las mediciones experimentales posibilitaron la evaluación de la calidad de los resultados de la simulación HYSYS. Estos resultados indicaron que, entre las ecuaciones disponibles en HYSYS para el cálculo de los coeficientes de actividad, la ecuación NRTL fue la que arrojó los mejores valores, con desviaciones en torno al 2% y 2,5% en relación con las temperaturas y concentraciones alcohólicas respectivamente, cuyos valores fueron medidos en varias fuentes de la unidad de destilación.

Como se puede observar en la Tabla 2, según el estudio de (Tomas, 2009), el interés en el etanol como combustible renovable ha aumentado considerablemente en los últimos tiempos, especialmente en el contexto del uso de etanol y sus mezclas como combustibles para motores. Sin embargo, para lograr avances significativos en este campo, es fundamental contar con una infraestructura sólida de mediciones de propiedades termo físicas, particularmente las curvas de destilación de las corrientes principales de la planta. En los Estados Unidos, el etanol se utiliza principalmente como aditivo para reducir las emisiones, mientras que, en países como Brasil, su uso es obligatorio y constituye un componente crucial de los combustibles para motores. No obstante, el costo relativo del etanol en comparación con la gasolina representa una barrera

significativa para su adopción más amplia, lo cual podría abordarse mediante mejoras en los procesos de destilación. Recientemente, se ha implementado el método de la curva de destilación avanzada, que ofrece una serie de ventajas, como un análisis detallado de la composición de cada fracción destilada, mediciones de temperatura precisas y coherentes, evaluaciones del contenido energético y la corrosividad, entre otros aspectos importantes.

Como podemos evidenciar en la Tabla 2 el artículo según (Luyben, W, 2017) se describe la clasificación de la mezcla ternaria de acetonitrilo, metanol y benceno en tres productos de alta pureza se complica por la presencia de tres mezclas que dividen el diagrama ternario en tres ramas distintas. Afortunadamente, las composiciones de dos de estas mezclas cambian significativamente con la presión. El diagrama de flujo óptimo y económico se ha desarrollado en un artículo reciente en la literatura que utiliza un proceso con tres columnas que operan a diferentes presiones. Se producen tres productos de alta pureza de las tres columnas con el destilado de la tercera columna reciclado de regreso a la primera columna. En el artículo se estudia la controlabilidad dinámica en toda la planta de este complejo proceso de interacción no ideal. Donde desarrollan una estructura de control que se encarga manejar temperaturas en cada una de las columnas. La compensación de presión en la columna de baja presión mejora el rechazo de carga de las perturbaciones tanto en el rendimiento como en la composición de la alimentación, teniendo en cuenta que no son necesario las mediciones de composición o presión en línea.

Como se puede observar en la Tabla 2, según el artículo de (Vinothkumar, C, 2017), la destilación es un proceso ampliamente utilizado para separar mezclas líquidas mediante la vaporización y condensación de sus componentes. En este método, la columna de destilación desempeña un papel crucial, especialmente en industrias como la farmacéutica, donde se utiliza para separar líquidos con diferentes puntos de ebullición, como la acetona y el agua. Antes de llevar a cabo el proceso de destilación, es necesario realizar pruebas, como PHA y PSSR, para garantizar la idoneidad de los solventes y prevenir posibles pérdidas, como corrosión, errores o fugas. Una vez completado el proceso, se obtiene un disolvente purificado cuya composición depende de los componentes de entrada. Este sistema de destilación continua está controlado por PLC y SCADA, lo que garantiza una medición y control precisos de parámetros como

temperatura, presión, flujo y nivel. Como resultado, se logra un ahorro considerable de tiempo, un entorno de trabajo seguro y una manipulación sin complicaciones.

1.4.5 Descripción de los artículos de los 5 años recientes.

Tabla 3.

Artículos de los 5 años recientes

Numer o	Autores y año	Numero de citaciones	Área temática
1	Hou, W., Zhang, Q. & Zeng, A (2021)	8	Ciencias y la ingeniería química
2	Huang, K. (2021)	2	ingeniería química
3	Beso, Anton A, (2023)	0	Investigación y diseño de ingeniería química
4	Bispo, Heleno, (2023)	0	Ingeniería química digital
5	Sol, Lanyi (2023)	0	Tecnología de separación y purificación

En la Tabla 3, según, (Hou, W., Zhang, Q. & Zeng,, 2020), se plantean esquemas para la destilación asistida por vapor de recuperación e integración de calor con baja o alta presión en un tambor de reflujo, con el objetivo de separar una mezcla de heptano y butanol y eliminar la necesidad de refrigerantes costosos. En el estudio se comparan cuatro configuraciones de destilación y se concluye que la de alta presión con recuperación de vapor es la opción más favorable, lo que podría resultar en una reducción del 18,10% en los costos anuales totales, una disminución del 75,01% en las emisiones de CO₂ basadas en gas natural (78,78% en base a fuel

oil pesado), y una eficiencia de segunda ley del 61,20% en comparación con un sistema de destilación refrigerado convencional. Además, se demuestra que el esquema de alta presión ofrece ventajas en términos de eficiencia termodinámica en comparación con el caso de baja presión. También se lleva a cabo una investigación sobre el control dinámico para lograr una disposición económica y eficiente, asegurando una buena composición de productos mediante una estrategia de control de temperatura de dos puntos, lo que permite compensar productos casi insignificantes y obtener respuestas rápidas del proceso.

Según, (Huang, K, 2021), la falta de sistemas de control en el proceso de destilación puede provocar variaciones en la calidad del producto final. Para abordar este problema, se pueden implementar controles en diversas etapas de las columnas de destilación, utilizando diferencias de temperatura entre la etapa sensible y la etapa de referencia. Sin embargo, en algunos casos, el uso del control de temperatura diferencial (TDC) puede resultar en fallas que afecten las cualidades del producto controlado. Para resolver este inconveniente, se propone un esquema llamado ETDC, que se ubica en las etapas sensibles y determina sus ajustes según el análisis de sensibilidad y el análisis SVD. Las pruebas de rendimiento del esquema ETDC implementado, en comparación con el esquema TDC convencional, muestran que el ETDC produce errores de estado estable reducidos en las cualidades del producto controlado y mejoras en las respuestas dinámicas. A pesar de emplear menos medidas de temperatura, el esquema ETDC es comparable al esquema DTDC en términos de rendimiento.

Según el estudio realizado por (Beso, 2023), se examinó el empleo de la destilación cíclica en la producción de alcohol de grado alimenticio, lo que corroboró su mayor eficiencia en términos de separación en comparación con los métodos de destilación convencionales. Una estrategia para abordar estos desafíos consiste en mejorar la tecnología de purificación del etanol mediante la utilización de la destilación cíclica, lo que podría resultar en la disminución de los costos energéticos y el aumento de la productividad al eliminar las impurezas en concentraciones más altas (lo que también contribuiría a la reducción de residuos). Se encontró que una columna de destilación cíclica con 15 platos de Maleta superó en capacidad de separación y rendimiento a una columna tradicional con 50 platos de burbuja. Además, la distribución de etanol en los platos en función de la etapa de alimentación de agua a la columna demostró una distribución óptima de

agua hidro selectiva en una columna industrial, lo que permitió una mayor eficiencia de separación de los componentes durante la destilación cíclica.

El artículo de (Arango Marín & Gómez Quintero, 2021), destaca la importancia de las unidades de destilación y la disponibilidad de datos en la industria. Se explora un enfoque de modelado o simulación que utiliza datos experimentales para validar estadísticamente un prototipo de destilación. Para ello, se desarrolla una simulación basada en datos de una unidad de destilación, y se utiliza una interfaz de supervisión para el monitoreo en tiempo real y la manipulación de variables. Además, se implementa un módulo externo para garantizar acciones proporcionales en un circuito encargado de controlar la carga de calor del hervido y así regular la temperatura de la etapa. Se llevan a cabo pruebas al modelo dinámico y se comparan los resultados con datos experimentales, realizando una validación basada en el tiempo desde el inicio hasta los estados estables obtenidos. Los resultados muestran que el modelo digital basado en datos construido es un gemelo digital representativo de la unidad de destilación UOP3CC, con una confiabilidad estadística superior al 95%.

El artículo de (Sol, 2023), ofrece un análisis exhaustivo del proceso de separación de las mezclas de isopropanol-butanol-etanol (IBE). Se reconoce que el producto resultante de la fermentación de IBE contiene una cantidad significativa de agua, lo que implica un consumo considerable de energía en el proceso de destilación. El estudio aborda sistemáticamente la separación del proceso IBE desde varias perspectivas, incluyendo la optimización del proceso, la recuperación de energía y el control del proceso. Se emplea una técnica de extracción combinada con destilación extractiva (E-ED), optimizando los parámetros mediante un algoritmo genético multiobjetivo. Además, se utiliza la técnica del punto de pellizco para analizar el consumo de energía en el proceso optimizado y se desarrolla un esquema de integración para maximizar la recuperación de calor. En comparación con el proceso no optimizado, el consumo de vapor a baja presión se reduce en un 100% y el consumo de agua de refrigeración se ahorra en un 58,80% gracias al proceso de integración de calor optimizado.

1.4.6 Análisis de estudio

Teniendo en cuenta la problemática sobre sistemas de monitoreo y control de destilación se tiene como base los artículos con el fin de minimizar gastos de combustibles y energía en los procesos los cual será tomado para este estudio y realizar comparaciones de resultados también se toma como enfoque los diferentes sistemas realizados y simulaciones que se usaron todos esto para realizar un sistema de monitoreo y control para destilación con mejoras y nuevos resultados más innovadores teniendo en cuenta que se busca disminuir tiempos en los procesos también el ahorro de materia prima y reducir gastos tanto como de energía como en combustibles sin perder en enfoque de que todo es con el fin de mejorar la calidad del producto que se obtenido y mejorar los procesos de destilación también que se pueda realizar llevar a cabo un proceso de destilación de manera autónoma de la cual no se corra ningún riesgo en los momentos que se realizan los procesos.

1.5 Marco Teórico

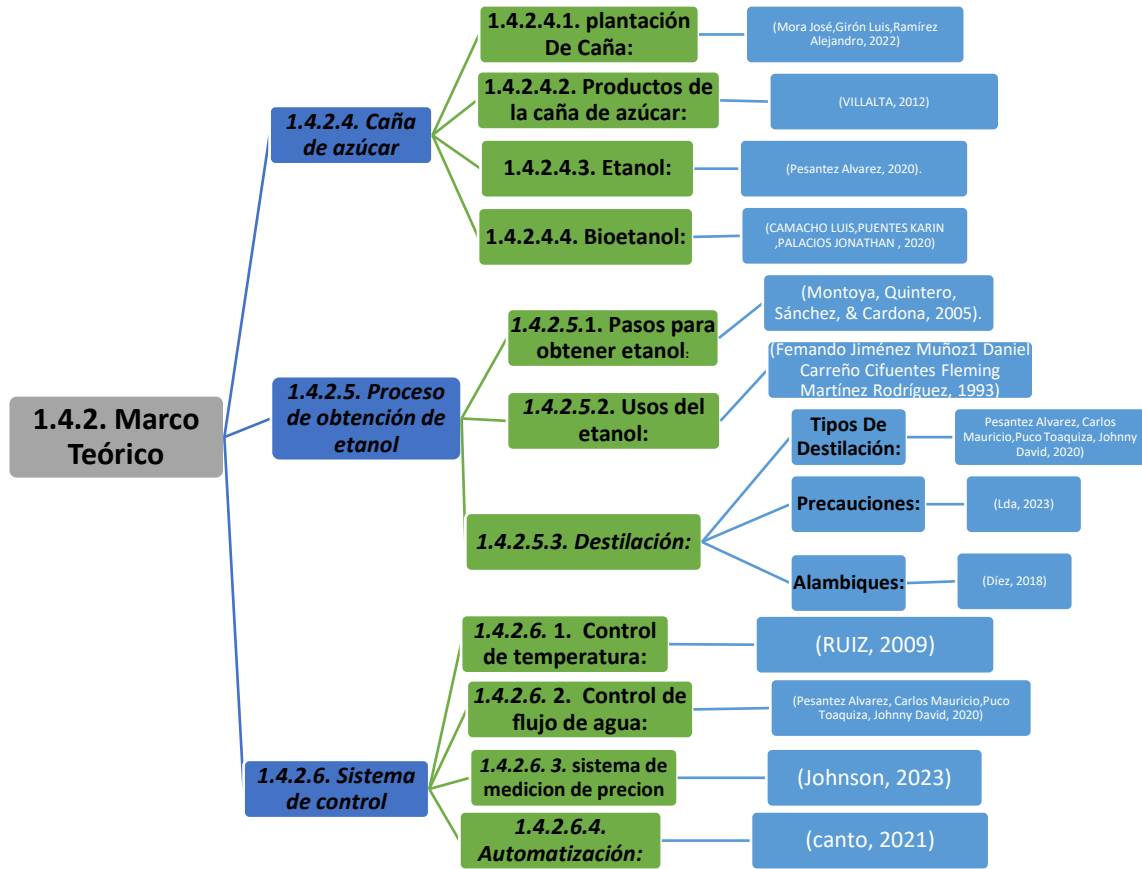
Como una visión amplia y detallada sobre la importancia de la caña de azúcar y su papel fundamental en la producción de una variedad de productos, desde la panela y el azúcar integral hasta el etanol y el bioetanol.

El proceso de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar implica una serie de etapas clave, desde la cosecha y molienda de la caña hasta la destilación y deshidratación del etanol resultante.

En conjunto, se proporciona una visión integral de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar, abordando aspectos agrícolas, técnicos y de control que son fundamentales para comprender la complejidad de este proceso industrial clave. De un modo resumido y a detalle en la Figura 7 es apreciable la taxonomía que conlleva una estructura jerárquica que organiza y clasifica elementos según sus características compartidas.

Figura 7.

Taxonomía



Fuente: (Autoría propia).

1.5.1 Caña de azúcar

1.5.1.1 Plantación De Caña: La caña de azúcar figura como uno de los cultivos de mayor relevancia en la producción agrícola mundial, siendo cultivada en más de cien países ubicados en regiones tropicales y subtropicales. En el año 2018, los países pertenecientes a la región americana fueron responsables de más del 53% de la producción global de caña. Aunque Colombia no se clasifica como uno de los principales países en cuanto a producción y exportación, es esencial destacar su destacada productividad por hectárea. **(Mora, Girón, & Lozano Ramírez, 2022).**

1.5.1.2 Productos de la caña de azúcar: Tanto la panela como el azúcar integral derivan de la caña panelera y son reconocidos como endulzantes de máxima pureza, obtenidos mediante la simple evaporación de los jugos de la caña y la subsiguiente cristalización de la sacarosa. En contraste con el azúcar blanco, el azúcar integral no se somete a procesos de refinado, centrifugado o depuración, lo que preserva integralmente todas las vitaminas y minerales presentes en la caña. (Villalta, 2012)

1.5.1.3 Etanol: Conocido comúnmente como alcohol etílico, este líquido se obtiene a través del proceso de fermentación de la caña de azúcar. Se trata de un compuesto químico orgánico que puede extraerse no solo del azúcar de caña, sino también de cereales, frutas o vegetales. Presenta propiedades inflamables e incoloras, con una densidad relativa de 0,789 a 20°C. Este alcohol desempeña un papel fundamental en la elaboración de diversos productos, como resinas, pegamentos y solventes (Pesantes Alvarez & Puco Toaquiza, 2020)

1.5.1.4 Bioetanol: Se trata de un combustible originado mediante la descomposición de desechos orgánicos, donde las bacterias desempeñan un papel fundamental al degradar los residuos y generar el biocombustible. Es crucial señalar que el bioetanol comparte la misma composición química que el etanol, también conocido como alcohol etílico, y hereda todas sus características. La distinción radica en que, mientras el bioetanol se produce a partir del procesamiento de biomasa, el etanol se obtiene de otros recursos, como el etileno presente en la nafta o el etano del gas natural.

En este contexto, un término clave es la fermentación, un proceso de oxidación incompleta que prescinde de oxígeno y resulta en un compuesto orgánico. Por ejemplo, es apropiado afirmar que cualquier licor alcohólico obtenido mediante la fermentación del azúcar de una planta debe clasificarse como bioetanol. La fermentación anaeróbica, es decir, sin la presencia de oxígeno, es un método ancestral que la humanidad ha empleado desde tiempos remotos con azúcares y levadura, seguido de una breve destilación antes de incorporarlos a una solución acuosa. Una aplicación tradicional ha sido la producción de bebidas alcohólicas.

En la actualidad, son muchas las clases de materias primas que se usan para producir bioetanol. Veamos a continuación una clasificación:

Materias primas con un contenido de sacarosa alto: caña de azúcar, dulces (caramelos, alimentos elaborados a base de azúcar), melazas, remolacha y sorgo dulce.

Materias primas con grandes concentraciones de almidón: papa, yuca y maíz.

La complejidad del proceso de fermentación varía según la materia prima usada; por ejemplo, cuando se parte de almidón es mayor que con sacarosa, y la celulosa supone una complejidad aún mayor. (Camacho Zarate , Gallego Puentes, & Cañón Palacios, 2020)

1.5.1.4.1 Características del bioetanol

En la Tabla 4 y 5 se muestran las características físicas, químicas y termoquímicas presentes en el bioetanol.

Tabla 4.

Propiedades físicas del bioetanol

Apariencia	Incoloro
Densidad	789 kg/m ³
Masa molecular	46.07 g/mol
Punto de fusión	-114 °c
Punto de ebullición	78 °c
Temperatura crítica	241 °c
Presión crítica	63atm
Estructura	Estructura cristalina monoclinico
Viscosidad	1.074 mpa s a 20°c
Índice de refracción	1.3611

Tabla 5.*Propiedades químicas*

Acidez	15.9 pka
Solubilidad	Miscible

Tabla 6.*Propiedades termoquímicas*

Entalpia vaporación	-235.3 kJ/mol
Entalpia de liquido	-277.6 kJ/mol

1.5.2 *Proceso de obtención de etanol*

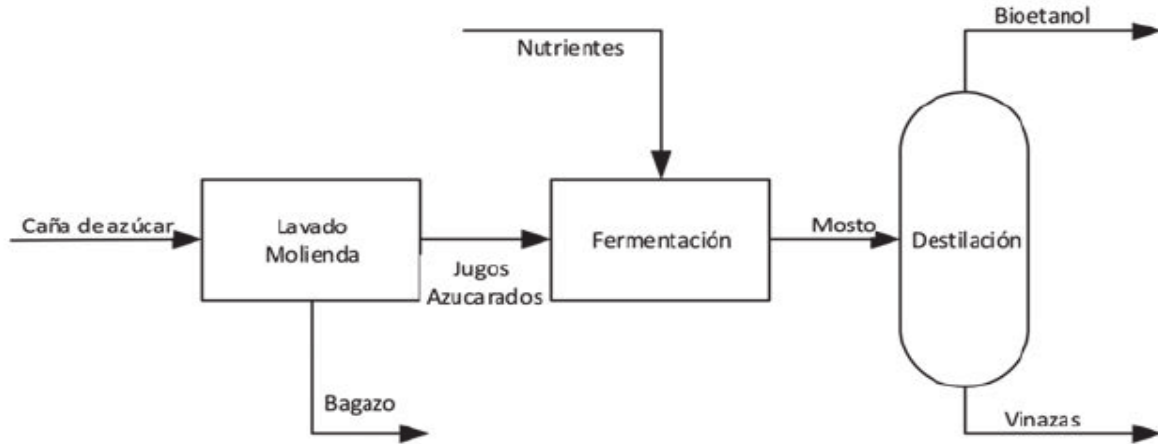
1.5.2.1 **Pasos para obtener etanol:**

La obtención de etanol o alcohol etílico a partir de caña de azúcar implica diversas etapas. Inicialmente, se lleva a cabo la cosecha de la caña, seguida por la molienda que extrae el jugo de caña, rico en azúcares. Posteriormente, se realiza el acondicionamiento del jugo para crear un entorno propicio para las levaduras responsables de la fermentación. Tras estos procesos, se ejecuta la destilación, que ocurre mediante la acción biológica de las levaduras, transformando los azúcares de la caña en etanol y dióxido de carbono (CO₂).

En una fase posterior del proceso, se procede a la separación de la biomasa del caldo resultante. Esta operación permite concentrar el etanol a través de la destilación, seguida de su deshidratación, alcanzando un grado de pureza de aproximadamente el 96% (Montoya R, Quintero S, Sanchez T, & Cardona A, 2005). Para una comprensión detallada de este procedimiento, se dispone del Diagrama de flujo para el balance de materia del proceso de destilación de bioetanol antes y durante el proceso, el cual está representado en la Figura 8.

Figura 8.

Esquema simplificado de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar



Fuente: (vargas, 2014)

1.5.2.2 Usos del etanol:

Entre sus usos esta la industria cosmética es un ingrediente base para productos cosméticos y de belleza, como es el aerosol de cabello; en la industria farmacéutica se usa como conservante y solvente en preparaciones farmacéuticas para medicamentos, además de ser la base del alcohol antiséptico; finalmente en la industria de las bebidas alcohólicas, donde se puede obtener diferentes productos. (Jiménez Muñoz, Carreño Cifuentes, & Martínez Rodríguez, 2016)

1.5.2.3 Destilación:

La destilación, como método de separación, facilita la segregación de sustancias a través del calentamiento, seguido por la condensación de la sustancia más volátil mediante enfriamiento. Sin embargo, las sustancias presentan una variedad de propiedades tanto físicas como químicas, y es imperativo considerar estas características antes de emprender la purificación de una sustancia específica. A lo largo de la historia de la humanidad, se han desarrollado diversas técnicas de

destilación para la purificación de sustancias, adaptándose a las propiedades particulares de cada compuesto. (Pesantez Alvarez & Puco Toaquiza, 2020)

1.5.2.3.1 Tipos De Destilación:

1. Destilación fragmentada.
2. Destilación por vapor.
3. Destilación al vacío.
4. Destilación molecular centrífuga.
5. Sublimación.
6. Destilación destructiva.

1.5.2.3.2 Precauciones:

Para iniciar en proceso de destilación es necesario tener en cuenta las siguientes precauciones.

Verificar que posee se el espacio necesario y adecuado para proceder a la destilación. El área debe encontrarse bien iluminada, limpia y suficientemente ventilada, previniendo la acumulación de los vapores alcohólicos.

La manipulación de líquidos inflamables, como el etanol, impone la necesidad de adoptar precauciones fundamentales con el objetivo de minimizar el riesgo de incendios. En este sentido, resulta crucial contar con un extintor en proximidad al operario y llevar a cabo la recolección del destilado con meticulosidad, evitando posibles derrames.

Es esencial llevar a cabo un monitoreo constante de la temperatura y prevenir que el contenido del alambique entre en ebullición de manera continua. La fuente de calor debe estar en su nivel máximo al inicio del proceso de destilación, pero debe ser reducida gradualmente a medida que se acerque al punto de ebullición. Posteriormente, se debe mantener a fuego lento para asegurar un control preciso del proceso. (Iberian Coppers, 2023).

1.5.2.4 Alambiques:

Los alambiques se destacan como los dispositivos de destilación más prevalentes, gracias a su capacidad para producir productos de alta calidad con un notable espectro aromático, lo que los convierte en equipos altamente valorados. Este proceso de destilación se lleva a cabo en dos fases distintas: inicialmente, en la primera fase, se logra una concentración de alcohol considerable, aproximadamente del 30%. Posteriormente, durante la segunda destilación, que puede realizarse en el mismo alambique o en otro con una estructura y técnica similar, es posible alcanzar una concentración de alcoholes de hasta un 65% (Díaz, 2018).

Para una visualización más detallada de este proceso, se incluyen las figuras 9 y 10, que muestran imágenes representativas de una destilación artesanal. Estas imágenes proporcionan una ilustración visual de los alambiques en funcionamiento y ayudan a comprender mejor las etapas del proceso de destilación.

Figura 9.

Alambique en Funcionamiento



(Díaz, 2018)

Figura 10.

Proceso de Destilación Artesanal



(Roland, 2016)

1.5.3 Sistema de control

Un sistema de control automático se compone típicamente de dispositivos de entrada, dispositivos de salida y una unidad de control o controlador. La implementación y desarrollo de estos sistemas abarcan diversas aplicaciones, tanto en entornos domésticos como en procesos industriales, así como en el ámbito tecnológico y científico, generando avances significativos en todas estas áreas. Estos sistemas de control han sustituido en muchos casos las tareas manuales mediante procesos autónomos, logrando ejecuciones más eficientes a través de máquinas controladas. En el contexto de la producción industrial, la utilización de sistemas de control automático proporciona beneficios sustanciales, incluyendo el aumento de la calidad y la cantidad de los productos fabricados. Además, contribuyen a mejorar los sistemas de seguridad en los procesos industriales y posibilitan la ejecución de operaciones que podrían resultar riesgosas para los seres humanos, obteniendo resultados más eficientes en comparación con métodos manuales.

(Guangasi Pilapanta & Noboa Rivera, 2016)

1.5.3.1 Control de temperatura:

Este sistema tiene la responsabilidad de regular el flujo de agua para controlar el proceso de refrigeración. Está compuesto por una termocupla que mide la temperatura en el punto específico requerido, y una válvula de tipo "on-off" que facilita el flujo de agua únicamente cuando la temperatura supera el valor preestablecido. (Jaramillo Ruiz, 2009).

El control de temperatura se puede hacer con instrumentos análogos o digitales, los primeros no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento y la calibración depende de la técnica de ensayo y error y es necesario añadir un termómetro cerca del lugar donde se pone la termocupla, mientras los segundos requieren de energía eléctrica, sirven de termómetro, tienen gran exactitud y es fácil y rápido el ajuste de los valores deseados. (Jaramillo Ruiz, 2009).

Según, (Iberian Coppers, 2023), la gestión de la temperatura de la mezcla de alimentación en el sistema se logra a través de la potencia de calefacción generada por la resistencia eléctrica. La regulación de la temperatura impacta directamente en la proporción de flujo de vapor y líquido en cada plato de la columna de destilación. En la Figura 11, se aprecia un sensor de temperatura empleado en algunos sistemas para este propósito.

Figura 11.

Sensor de temperatura



Fuente: (Lda, 2022).

Se considera que el agua necesaria para ingresar al primer reactor será agua corriente, por lo que se establece un rango de temperaturas en el cual podría ingresar, considerando el peor escenario en invierno con una temperatura aproximada de 15°C y en los meses más cálidos, se estima alrededor de 20°C. Dado que la temperatura óptima de operación es de 45°C, se busca implementar un tratamiento para precalentar el agua que entra al reactor. Para lograr esto, se utiliza un intercambiador de calor con el objetivo de acercar la corriente de agua a la temperatura óptima. Sin embargo, dado que la reacción es exotérmica, se explica el uso posterior de camisas y serpentines de refrigeración.

Este intercambiador de calor utiliza como corriente auxiliar el producto condensado proveniente del segundo condensador del sistema de destilación, que se encuentra a una temperatura de 78,17°C (valor obtenido de simulaciones en UNISIM). De esta manera, antes de ser enviada al tanque de almacenamiento, parte del calor de esta corriente auxiliar se retira para cumplir con los requisitos de temperatura del agua que ingresa al primer reactor.

Para prevenir que la corriente del producto eleve la temperatura por encima del valor deseado, se implementa un sistema de abanico con retroalimentación. Este sistema tiene como objetivo evitar que el agua que ingresa al reactor exceda los 45°C. El control propuesto implica la medición continua de la temperatura a la entrada del intercambiador para anticipar cualquier perturbación. Al mismo tiempo, se realiza la medición de la temperatura a la salida del equipo, considerando posibles perturbaciones en el fluido de calentamiento, que también podría elevar la temperatura más allá del nivel deseado para la reacción.

Dado que la reacción es exotérmica, en el primer reactor se utiliza una camisa refrigerante para evitar que la temperatura supere el óptimo de 45°C. En los demás reactores, se emplea un serpentín. Es crucial destacar que la temperatura no debe superar los 55°C, ya que este es el punto crítico en el cual se produce la muerte celular. (Di Carlo, Puyol, & Vazquez Werhrhahne, 2018).

1.5.3.2 Control de flujo de agua:

El sistema controla el flujo de agua que circula hacia el condensador, y este lazo tiene un impacto directo en el flujo de líquido en los platos de destilación. Las variaciones en el flujo de líquido de enfriamiento afectan directamente el porcentaje de líquido que se condensa en el proceso.

El suministro de agua a la planta comienza desde una balsa de laminación de vertidos hasta un tamiz rotativo con un paso de malla de 1 mm, donde se eliminan los sólidos de mayor tamaño. El agua tamizada fluye por gravedad hacia el flotador de tipo DAF, donde se eliminan las grasas y la mayoría de los sólidos en suspensión presentes en el agua, los cuales son dirigidos al tratamiento de lodos. Entre el tamiz y el flotador, se encuentra un serpentín de mezcla con un pH-metro en línea. En este serpentín, se realiza la dosificación de coagulante, floculante, y sosa o ácido, según sea necesario para ajustar el pH.

Desde el flotador, el agua se dirige por gravedad a la balsa de homogeneización, equipada con una parrilla de difusores para generar una pre-aireación y la agitación necesaria para lograr una homogeneización efectiva del agua. La balsa cuenta con otro pH-metro que controla la dosificación de sosa o ácido en la balsa. La alimentación al tratamiento biológico se efectúa mediante dos bombas centrífugas sumergibles, una de las cuales actúa como reserva, diseñadas para bombear un caudal de 16 m³/h. (Pesantez Alvarez & Puco Toaquiza, 2020)

El tratamiento biológico se realiza mediante un proceso aerobio por fangos activos con zona anóxica, con un volumen de reacción de diseño de 2000 m³. El agua proveniente de la balsa de homogeneización se introduce en la primera cámara del reactor biológico, correspondiente a la zona anóxica, la cual carece de aireación, pero cuenta con agitación para mantener en suspensión la masa de lodos biológicos existentes. Después de pasar por esta cámara, el agua continúa su recorrido por las tres cámaras restantes, las cuales son aireadas.

La aireación se lleva a cabo mediante 475 unidades de difusores dispuestos en emparrillados en el fondo de cada una de las cubas que conforman la zona aireada del reactor. Para suministrar el aire necesario a estas parrillas, se dispone de tres moto-soplantes, uno de los cuales actúa como reserva.

Se establece una recirculación de lodos desde el final de la zona aerobia hacia la zona anaeróbica para facilitar el proceso de desnitrificación. Después de pasar por el reactor, el agua fluye por gravedad hacia el decantador secundario, de tipo circular. En este equipo, el agua se clarifica y continúa su descenso por gravedad hasta la arqueta de salida del decantador.

Los lodos retenidos en el decantador se recirculan parcialmente a la entrada del reactor con el fin de mantener la concentración de masa biológica necesaria en el sistema, mientras que el exceso se purga hacia el tratamiento de lodos. Desde la arqueta de salida del decantador, el agua se bombea a un filtro de arena-antracita de tipo cerrado. El agua filtrada se dirige a la arqueta de vertido final para ser vertida en el río. (Pesantez Alvarez & Puco Toaquiza, 2020)

1.5.3.3 Sistema de medición de presión

Un recipiente lleno de gas normal contiene átomos y moléculas que constantemente rebotan en sus paredes, generando una presión que se define como la fuerza promedio de estos elementos por unidad de área del recipiente. Es importante destacar que la presión no necesariamente se mide a lo largo de las paredes de un recipiente, sino que puede evaluarse como la fuerza por unidad de área a lo largo de cualquier plano. Por ejemplo, la presión del aire se relaciona con el peso del aire que ejerce presión hacia abajo sobre la Tierra, por lo que, a mayor altitud, la presión disminuye.

La medida de la presión puede describirse como estática o dinámica. La presión estática se refiere a situaciones sin movimiento, como la presión del aire dentro de un globo o el agua dentro de un recipiente. Por otro lado, el movimiento de un fluido genera cambios en la fuerza aplicada a su entorno, dando lugar a la presión dinámica. En resumen, la presión estática se manifiesta en condiciones de reposo, mientras que la presión dinámica está asociada con el movimiento de un fluido.

1.5.3.3.1 Medir la presión

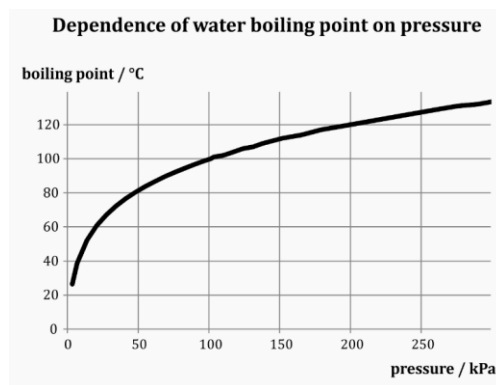
Una medida de presión puede también clasificarse según el tipo de medición que se está llevando a cabo. Los tres métodos principales para medir la presión son: absoluta, manométrica y diferencial. La presión absoluta se refiere a la presión en un vacío y se mide respecto al cero absoluto. Por otro lado, las presiones manométricas y diferenciales hacen referencia a otra presión, como la presión atmosférica ambiental o la presión en un recipiente adyacente. En el caso de la presión manométrica, se considera la presión atmosférica como referencia, mientras que la presión diferencial se mide en relación con la presión en otro punto específico del sistema. Cada uno de estos métodos proporciona información valiosa en distintos contextos y aplicaciones. (Johnson, 2023)

1.5.3.3.2 *Presión absoluta.*

El método de medidas absolutas se establece en relación con 0 Pascales, que representa la presión estática en el vacío. En este enfoque, la presión medida se lleva a cabo considerando tanto la presión atmosférica como la presión de interés. Por lo tanto, la medida de presión absoluta incorpora los efectos de la presión atmosférica. Este tipo de medición resulta ideal para presiones atmosféricas, como las utilizadas en altímetros o para medir presiones al vacío. Frecuentemente, se utilizan abreviaturas como Pa (Pascal absoluto) o psi (libras por pulgada cuadrada absoluta) para describir la presión absoluta, así lo señala, (química, 2023).

Figura 12.

Presión absoluta



Fuente: (Physics Experiments, 2022)

La presión absoluta desempeña un papel importante en la destilación, ya que determina el punto de ebullición del bioetanol y otros compuestos presentes en la mezcla. A presiones

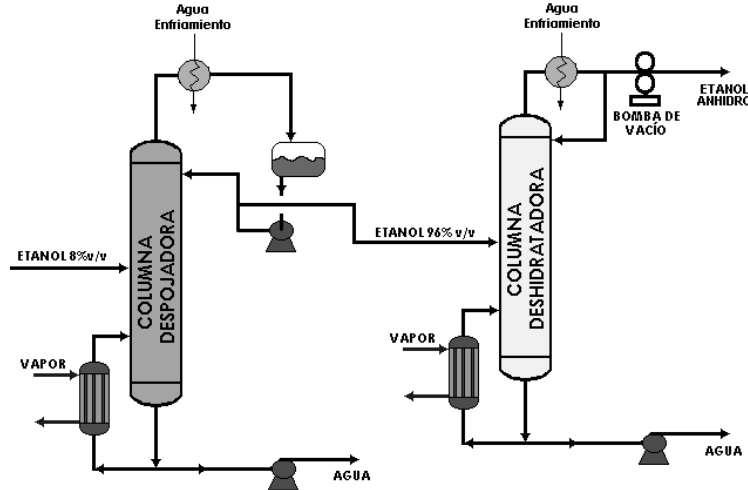
absolutas más bajas, los puntos de ebullición de los líquidos disminuyen, lo que facilita la vaporización del bioetanol, como se ve en la Figura 12, al bajar la presión, disminuye significativamente su punto de ebullición.

1.5.3.3 Presión manométrica.

La presión manométrica se determina en relación con la presión atmosférica circundante. Esto significa que tanto la referencia como la presión de interés se miden tomando en consideración las presiones atmosféricas. Por ende, la medición de la presión manométrica no considera los efectos de la presión atmosférica. Este tipo de mediciones se aplica en situaciones como la presión de los neumáticos o la presión arterial. Al igual que con la presión absoluta, se emplean abreviaturas como Pag (Pascal manométrico) o psi (libras por pulgada cuadrada manométrica) para describir la presión manométrica, según, (química, 2023)

Figura 13.

Presión manométrica



Fuente: (Orozco Murillo, 2010).

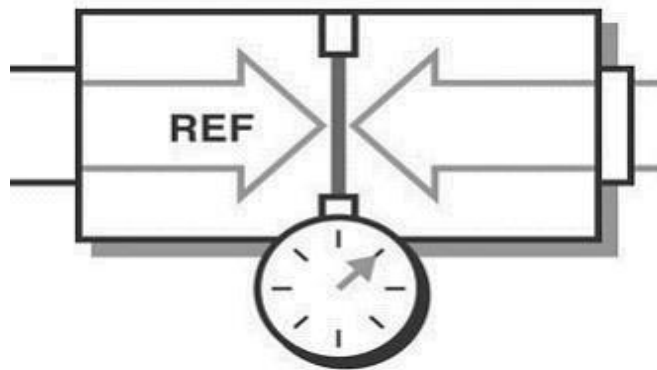
En el caso de la destilación de bioetanol, como se menciona anteriormente, a menudo se utilizan columnas de destilación al vacío. En estas columnas, que se muestra en la Figura 13, se mide y controla la presión manométrica negativa para facilitar la separación del bioetanol del agua y otros compuestos, al disminuir los puntos de ebullición.

1.5.3.3.4 Presión diferencial.

La presión diferencial, aunque comparte similitudes con la presión manométrica, difiere en que su referencia se establece en otro punto de presión dentro del sistema, en lugar de depender de la presión atmosférica. Este enfoque resulta útil para mantener una presión relativa entre dos contenedores, como un tanque de compresor y la línea de transmisión asociada. Además, para describir la presión diferencial, se emplean abreviaturas como Pad (diferencial de Pascal) o psid (diferencial de libras por pulgada cuadrada), Al tener en cuenta dos presiones su representación está dada por la simbología mostrada en la Figura 14.

Figura 14.

Presión diferencial



Fuente: (química, 2023)

1.5.3.4 Automatización

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Según, (Canto, 2021) señala que, un sistema automatizado consta de dos etapas principales:

1.5.3.4.1 Etapa Operativa:

La sección que incide directamente en el funcionamiento de la máquina comprende los componentes que posibilitan su movimiento y ejecutan la operación prevista.

Los elementos que inciden directamente en el desempeño de la maquinaria son aquellos que inducen su movimiento y ejecutan las funciones deseadas. Formando parte de la sección operativa se encuentran los actuadores, como motores, cilindros y compresores, así como los sensores, entre los cuales se incluyen fotodiodos y finales de carrera.

1.5.3.4.2 Etapa de Mando:

Por lo general, autómata programable (tecnología programada), una alternativa al uso de relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada) En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado (Canto, 2021).

1.5.4 Marco Contextual

En este proyecto que se realizara en el corregimiento de Llorente, ubicado en municipio de Tumaco con el cual se quiere aprovechar cultivos de caña que se encuentran en algunos lugares o fincas ya que en ese sector se desperdicia y algunas personas para no perder el producto realizan el proceso de destilación de forma artesanal en la zona (DINAMICA, 2020).

1.6 Metodología

1.6.1 Tipo De Investigación

Es una investigación descriptiva-experimental. Ya que se propone el desarrollo de un sistema de monitoreo, diseñado con el objeto de supervisar y optimizar los procesos de destilación, garantizando un funcionamiento óptimo en el proceso de destilación tradicional.

1.6.2 Línea de investigación

Diseño y desarrollo de productos mecatrónico; que nos permite optimizar e innovar los procesos productivos, por tal motivo en el desarrollo del presente proyecto nos brinda la posibilidad de diseñar e implementar un sistema de monitoreo que nos permitirá evaluar y controlar las etapas del proceso de destilación para la obtención de bioetanol.

1.6.3 Descripción Metodológica

El proceso de obtención de bioetanol es un área de investigación y desarrollo en constante evolución, con el objetivo de producir de manera eficiente y sostenible este producto se ha planteado una metodología estructurada para caracterizar, diseñar, implementar y verificar un sistema de monitoreo destinado a optimizar las etapas del proceso de obtención de bioetanol mediante destilación. Este sistema de monitoreo desempeña un papel fundamental al proporcionar información en tiempo real sobre variables clave. A continuación, se detallan las cuatro fases de esta metodología, cada una con su actividad en específico.

1.6.3.1 Fase 1. Caracterizar las variables que se encuentran en las etapas del proceso para la obtención de bioetanol: Dentro de esta fase se busca identificar los requerimientos necesarios para el desarrollo del sistema de monitoreo de la destilación de bioetanol. Para lograr esta fase es necesario realizar una revisión bibliográfica la cual se basa en los procesos de destilación de tal manera que con la investigación detallada se logre conocer cuáles son las variables por controlar.

1.6.3.2 Fase 2. Diseñar un sistema de monitoreo que permita evaluar las etapas de producción de bioetanol: En esta siguiente fase se tiene como propósito diseñar el sistema de monitoreo que nos permita evaluar las etapas de la adquisición del bioetanol, donde será necesario realizar un análisis técnico de los diseños potencialmente factibles de tal manera que este permita obtener un diseño detallado para la creación del sistema de monitoreo y las pruebas posteriores.

1.6.3.3 Fase 3. Implementar el sistema de monitoreo diseñado en la destiladora: En esta siguiente fase se tiene como propósito Implementar el sistema de monitoreo diseñado en una destiladora de bioetanol donde será necesario realizar Construir el sistema de acuerdo con el diseño desarrollado.

1.6.3.4 Fase 4. Verificar el funcionamiento del sistema en un entorno controlado: En la fase final es donde se verificará el funcionamiento del sistema en condiciones reales dentro de un entorno controlado para esto se llevará a cabo pruebas de laboratorio al prototipo y su sistema, para finalmente evaluar la calidad del producto adquirido.

1.6.4 Hipótesis

1.6.4.1 Hipótesis de investigación

El desarrollo un prototipo de destiladora de bioetanol a escala de laboratorio con capacidad de 12 litros que mediante la implementación de un sistema de monitoreo y control permita la

reduciendo el tiempo de producción y conservando la calidad del producto esperada, desde un enfoque mecatrónico cumpliendo las especificaciones técnicas necesarias.

1.6.4.2 Hipótesis alternativa

El desarrollo un prototipo de destiladora de bioetanol a escala de laboratorio con capacidad de 12 litros que mediante la implementación de un sistema de monitoreo y control permita la obtención de un producto de calidad aceptable en un tiempo estándar de producción.

1.6.4.3 Hipótesis nula

La implementación del sistema de monitoreo y control en un prototipo destiladora de bioetanol a escala de laboratorio no permite el mejoramiento adecuado del producto para la producción.

1.5.1. Validez en la investigación (interna y externa)

1.6.4.4 Validación Externa

La validación externa se enfoca en generalización de los resultados.

La validación externa nos implica evaluar si los resultados obtenidos en un entorno específico se pueden aplicar en otra destiladora en diferentes ubicaciones o entornos de trabajo con diferentes condiciones de trabajo y condiciones variables.

1.6.4.4.1 ***Muestras representativas:*** esto implica seleccionar una muestra de sistemas de monitoreo y control que sean similares en términos de tamaño tecnología configuración y otros factores relevantes.

1.6.4.5 Validación Interna

Es la confiabilidad y precisión de los resultados del sistema para garantizar la validación interna es necesario establecer un diseño de investigación sólido y utiliza técnicas apropiadas esto implica las variables que se medirán en el sistema.

Para validar la hipótesis se utilizará elementos de medición confiables y asegurarse de que se encuentren bien calibrados.

Otra forma de validar es realizando comparaciones de grados de alcohol que se obtienen de la forma artesanal y de la forma automatizada además de realizar comparaciones del tiempo de producción de manera artesanal para comprarlos con el sistema de destiladora automatizado también se puede evaluar los costos y consumo de energía de forma artesanal y el sistema automatizado.

Para la evaluación del desempeño de un sistema de monitoreo y control de una destiladora de bioetanol podemos utilizar diferentes instrumentos de referencia, métricas y rúbricas para evaluación de desempeño de referencia.

1. Eficiencia de producción

Se puede medir la eficiencia del sistema en términos de calidad del etanol producido en relación con la materia prima utilizada.

2. Calidad del producto

Se puede evaluar la calidad del etanol producido Considerado parámetros como el grado de alcohol del etanol la pureza y la presencia de impurezas.

3. Consumo de energía

Se puede evaluar el consumo de energía del sistema y se puede establecer metas para la reducción del consumo sin comprometer la producción y la calidad del producto.

4. Exactitud del monitoreo

Se puede establecer una rúbrica para evaluar la precisión del sistema de monitoreo en la medicación de variables críticas como temperaturas y presión.

5. Estabilidad del control

Se puede crear una rúbrica para evaluar la estabilidad del sistema considerando la capacidad de mantener las variables dentro de los rangos deseados.

2 Resultados

2.1 Revisión bibliográfica del proceso de destilación de bioetanol y caracterización las variables que se encuentran en las etapas del proceso.

2.1.1 *Que es el etanol*

El etanol es un tipo de compuesto químico, conocido popularmente como alcohol etílico, el cual en una situación de presión y de temperatura normal, se caracteriza por ser un líquido incoloro e inflamable en un punto de ebullición de 78° C. Cuando se lo soluciona en agua se lo suele usar como disolvente y en la elaboración de bebidas alcohólicas. Cabe destacar, que de acuerdo con la bebida alcohólica que lo posea, el etanol estará acompañado de diferentes sustancias químicas que le aportarán un color, un olor y un sabor. (Arteaga).

2.1.1.1 Tipos de destilación

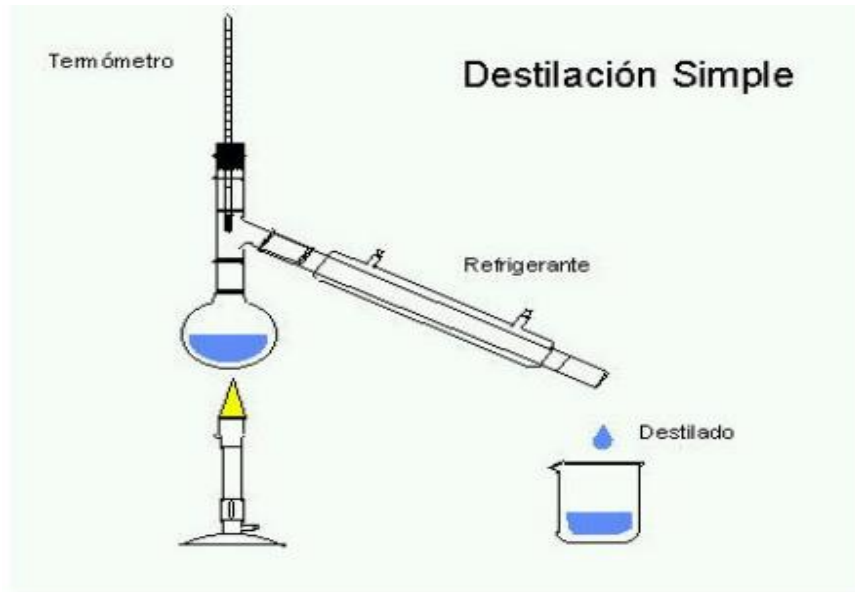
1. Destilación simple
2. Destilación fraccionada
3. Destilación al vacío
4. Destilación azeotrópica
5. Destilación por arrastre de vapor
6. Destilación seca
7. Destilación mejorada

A continuación, se cita el proceso de destilación más usado para la obtención del etanol la cual es la destilación simple también la podemos evidenciar en la Figura 15 según (Mathewson, Destilación, s.f.). La destilación se realiza para separar el etanol de los componentes de la mezcla que es agua en su mayor parte, la producción de etanol como combustible hay que separarlo completamente del agua si se quiere mezclar con gasolina, o la mayor parte, si se va a quemar en un motor adaptado, cuanto más puro deba ser el etanol es más difícil conseguirlo.

La separación del agua y el etanol es posible porque el alcohol etílico hierve a 173°F y el agua a 212°F. Cuando se hierve la mezcla de agua y alcohol el vapor contiene una proporción mayor de alcohol que de agua proporción que disminuye con el tiempo al disminuir la concentración de alcohol en la mezcla, sin embargo, el agua y el etanol no forman lo que se llama una “mezcla ideal”.

Figura 15.

Destilación simple



Fuente: (Mathewson, Destilación, s.f.)

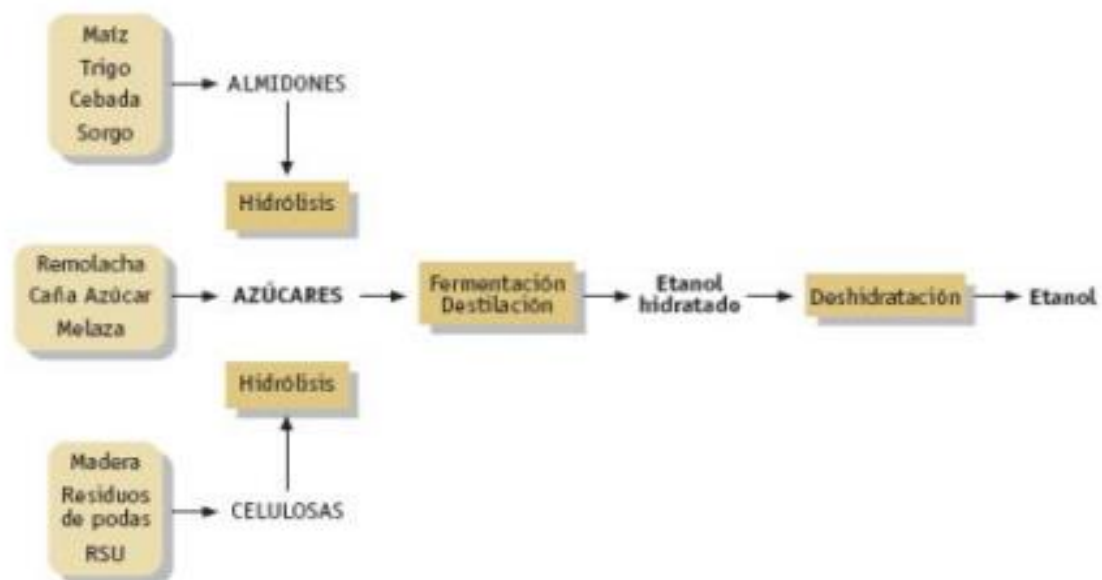
A lo largo de los años, las técnicas para la producción de bioetanol han ido evolucionando, pudiendo llegar a distinguirse tres generaciones de producción de bioetanol en función del tipo de materia prima utilizada. Para la fabricación de bioetanol se pueden utilizar una gran variedad de materias primas.

Como se puede apreciar en la Figura 16 dependiendo de la materia prima que se esté utilizando se necesitan unas condiciones de pretratamiento diferente, para así liberar los azúcares en el medio. La primera generación se basa en aprovechar los azúcares y almidón presente principalmente en la caña de azúcar y el maíz. En cuanto al bioetanol de segunda generación las fuentes principales son materiales lignocelulósicos y residuos agrícolas forestales.

En el caso del bioetanol de primera generación es el que proviene de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas que están destinado a la alimentación humana, mientras que el bioetanol de segunda generación procede de biomasa que no compite con la producción de alimentos (Muñoz Ortuño, 2021)

Figura 16.

Proceso de obtención del etanol



Fuente: (Redmidia, 2015)

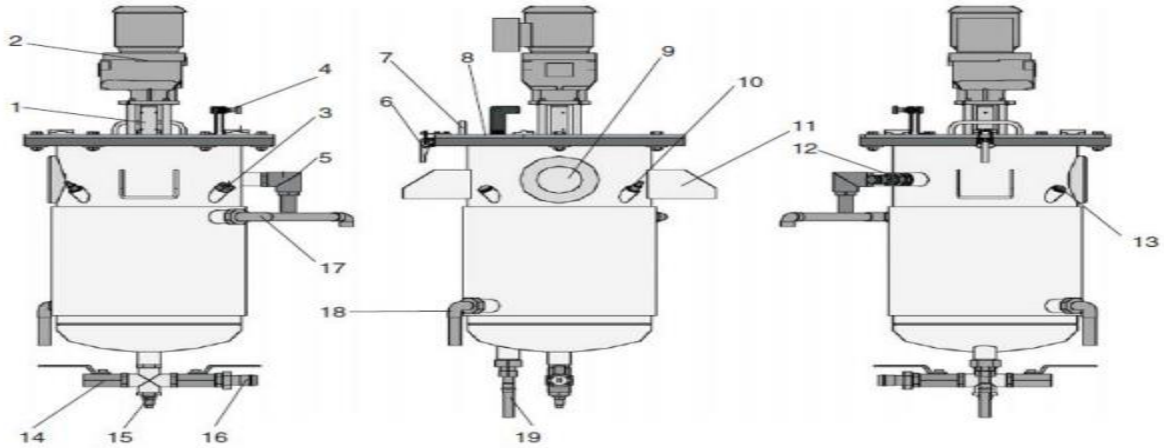
2.1.2 *Sistemas para realizar el proceso de destilación.*

2.1.2.1 **Sistema de destilación 1**

Como se puede apreciar en la Figura 17 el esquema del depósito de fermentación del sistema de destilación automatizado el cual nos permite la fermentación del jugo de la caña el cual nos proporciona un ambiente en condiciones óptimas del producto.

Figura 17.

Esquema del depósito de Fermentación



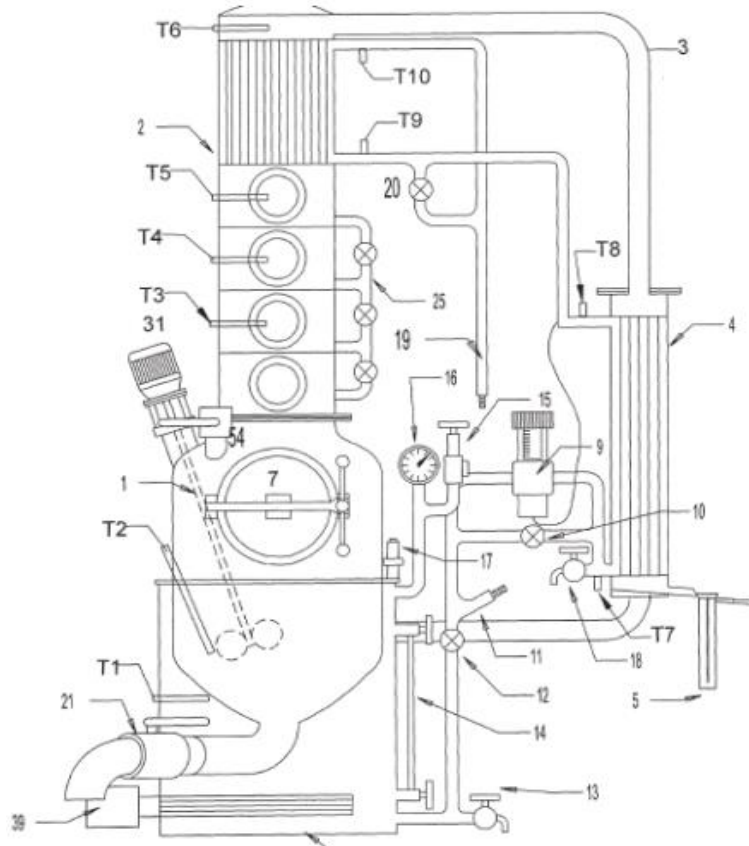
Donde:

- | | |
|--|---|
| 1. Tapón. | 2. Boca de limpieza. |
| 3. Acoplamiento. | 4. Motorreductor. |
| 5. Tapa. | 6. Entrada de mezcla macerada. |
| 7. Sensor de temperatura, mezcla macerada. | 8. Mirilla. |
| 9. Cierre de fermentación. | 10. Boca de llenado. |
| 11. Garra de apoyo. | 12. Salida de agua refrigerante. |
| 13. Válvula de regulación del agua refrigerante. | 14. Grifo de vaciado. |
| 15. Conexión con la bomba de alimentación. | 16. Sensor de temperatura, agua refrigerante. |
| 17. Entrada de agua refrigerante. | 18. Depósito de doble camisa. |
| 19. Grifo de cierre, agua refrigerante. | |

Como se puede apreciar en la Figura 18 el Esquema de la unidad de destilación del sistema de destilación automatizado el cual nos permite realizar la destilación del jugo de la caña el cual nos permite la separación de los líquidos o las mezclas.

Figura 18.

Esquema de la unidad de destilación

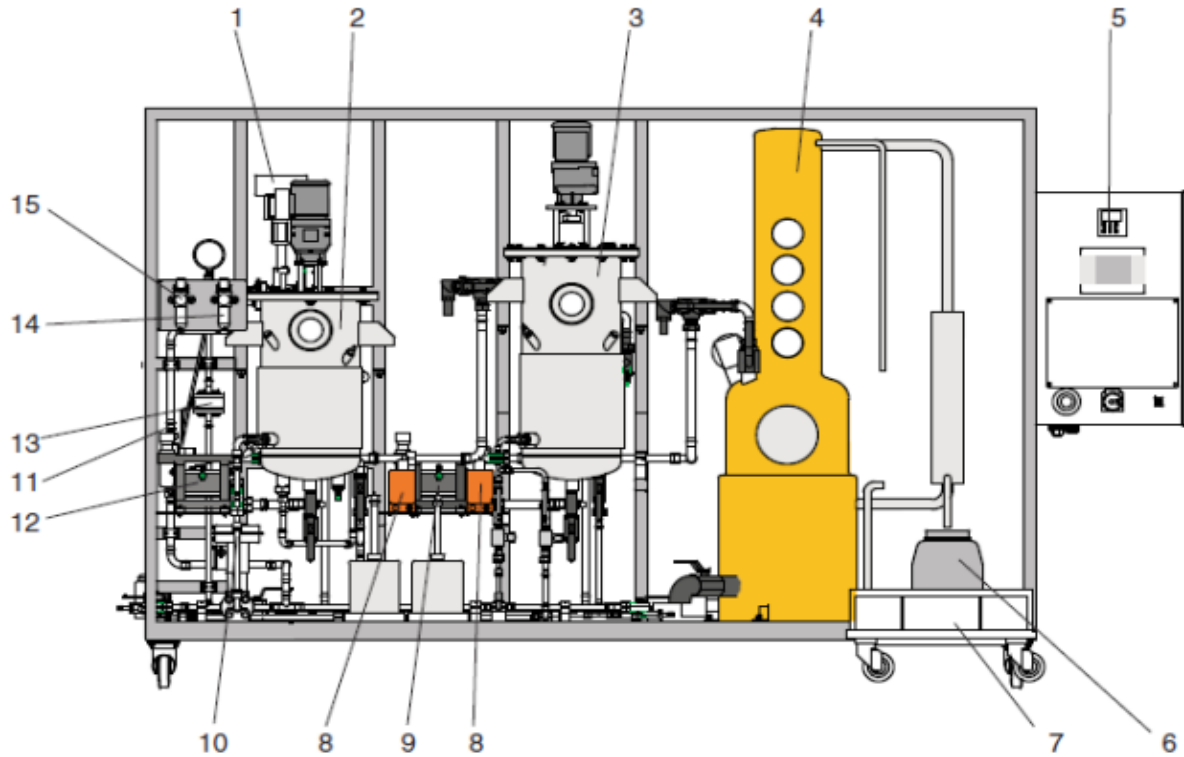


La unidad de destilación es una instalación de destilación modificada con baño de agua (6). Contiene la burbuja de destilación (1), la columna de destilación de latos de burbujas con el deflegmador (2), el condensador (4), así como toda la grifería necesaria para el funcionamiento y está completamente entubada. Las designaciones T1 - T10 muestran la posición de los diferentes sensores de temperatura dentro de la instalación.

Como se muestra en la Figura 19 el esquema general del proceso de destilación teniendo en cuenta que este sistema es bastante completo porque en él se encuentran incorporados los sistemas de fermentación a diferencia de otros sistemas en los cuales solo se tiene el sistema de destilación.

Figura 19.

Esquema general del proceso



Especificaciones

1. Válvula de regulación de la presión de vapor (V1).
2. Depósito de maceración para la licuefacción/sacarificación (B1).
3. Depósito de fermentación (B2).
4. Unidad de destilación (D1).
5. Armario de distribución.
6. Depósito de etanol (B4).
7. Depósito de vinazas (B5).
8. Bomba de dosificación de membrana (P1 y P4).
9. Bomba de mezcla macerada (P3).
10. Válvula de regulación de agua fría (V2).
11. Caudalímetro (F1). 12. Bomba de mezcla macerada (P2).
13. Válvula de cierre de vapor (V23).

- 14. Estación de mantenimiento de aire comprimido, válvula de regulación de agua fría.
 - 15. Estación de mantenimiento de aire comprimido, válvula de regulación de la presión vapor.
- (Arango Marín & Gómez Quintero, 2021)

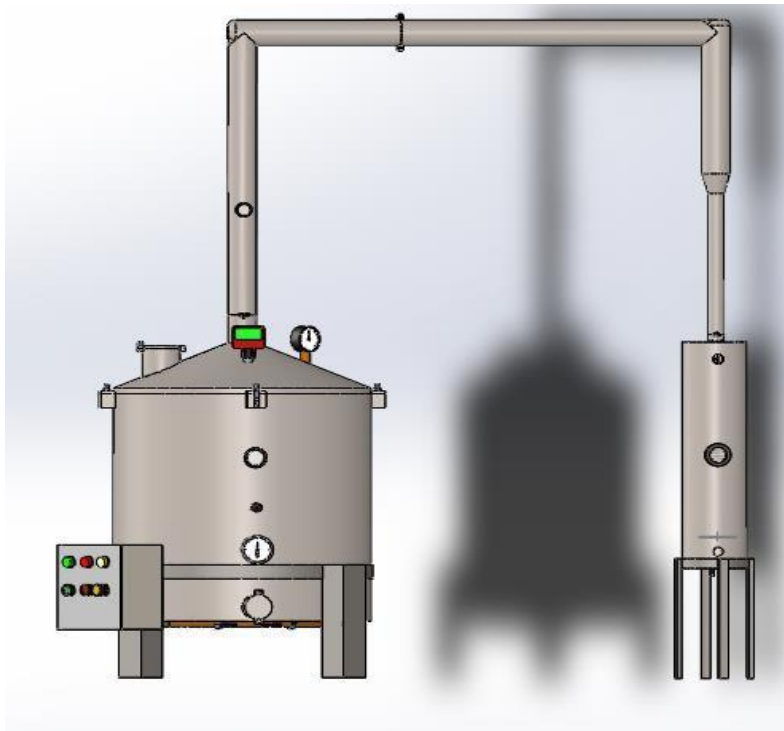
2.1.2.2 Sistema de destilación 2

Como se puede observar en la Figura 20 el sistema de destilación de una columna el cual nos ayuda a realiza la separación de los líquidos teniendo en cuenta que este sistema solo se encarga de la destilación a diferencia que el sistema 1 anteriormente mostrado en la Figura 19 es capaz de realizar los procesos de fermentación de jugos y destilación.

Y, por último, en la Figura 21, se muestra las partes de este sistema de destilación.

Figura 20.

Sistema de destilación de una columna



21. tornillo m4

22. Termómetro

23. sensor volumen

(Días & Vargas, 2021)

2.1.3 Identificación de las variables a controlar durante la automatización del proceso.

A continuación, se realiza una tabla en la cual se identifican las variables que se van a controlar durante la automatización del proceso de destilación como se puede evidenciar en la Tabla 7 las variables a controlar con una breve definición también se tiene el indicador y la unidad de medida.

Tabla 7.

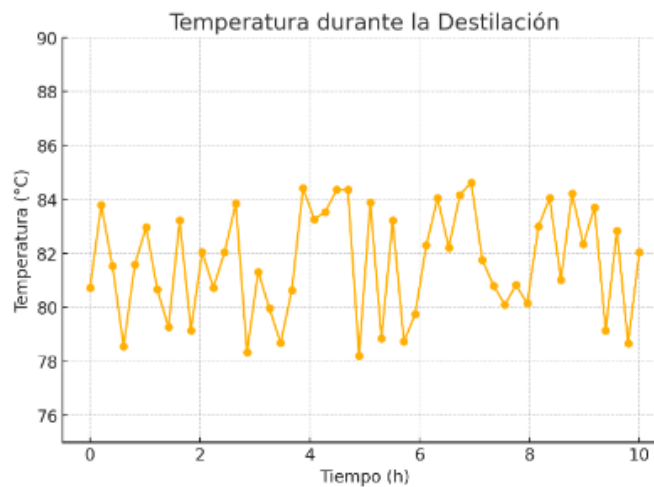
Variables por controlar

Tipo de variable	Definición conceptual	Unidad de medida
Temperatura	Se debe mantener entre 78°C y 85°C para garantizar una destilación eficiente sin producir subproductos no deseados.	Celsius (°C)
Presión	Crucial el control para optimizar la separación de etanol se debe mantener entre 100 kPa y 108 kPa.	Pascal (Pa)
Tiempo	Dura de 6 a 24 horas dependiendo de la cantidad y la concentración de etanol.	Horas(h)
pH	Debe mantenerse idealmente entre 4.5 y 5.5 para una fermentación eficiente y para la actividad óptima de las levaduras.	pH

Para asegurar que el proceso de destilación del etanol sea eficiente, es crucial mantener la temperatura del destilado cerca de los 78°C. Este rango de temperatura permite la correcta separación del etanol del agua y otros componentes, evitando así la formación de subproductos indeseados. La temperatura ideal se debe mantener entre 76-82°C es esencial para obtener un etanol de alta pureza de la caña de azúcar (Chemistry LibreTexts, 2023).

Figura 22.

Temperatura en proceso de destilado



Fuente: (ChemEnggHelp, 2023).

En la Figura 22 se detalla una gráfica de un proceso de destilado donde se mantiene la temperatura a 78°C y las variaciones que este presenta en el tiempo.

Es importante mencionar que lo que se mira dentro la Figura 22, la temperatura responde a pequeñas fluctuaciones sin causar interrupciones significativas en el proceso. Las variaciones están dentro de un rango de 10 grados.

2.1.4 Identificación de las especificaciones de desempeño del sistema.

A continuación, se realiza una tabla de especificaciones de desempeño del sistema la cual se puede acervar en la Tabla 8 en la cual se define el tipo de material a utilizar, el voltaje necesario,

el tiempo de horas de destilación, el costo de la máquina, la capacidad, dimensiones, el control, y la temperatura máxima y mínima.

Tabla 8.

Especificaciones de desempeño del sistema

Tipo de material	Acero inoxidable
Alimentación	12 voltios
Tiempo de destilación	3 horas
Costo de la maquina	\$1.500.000
Capacidad	5 galones
Dimensiones	Equipo portable
Control	Sistema que permita controlar la temperatura y la presión
Temperatura máxima y mínima	78,3°c 100°c

2.2 Diseños del sistema para monitorear y controlar la producción de bioetanol en una destiladora.

2.2.1 Ideas previas de posibles diseños.

Alternativa 1: Destiladora con sistema de monitoreo y control con PLC (Controlador Lógico Programable) y pantalla táctil una termocupla y electroválvula de gas y sensor de presión Sin Estructura recipiente enfriador; en la Tabla 9 podemos encontrar partes, también ventajas y desventajas de la alternativa 1 esto con el fin de tenerlas en cuenta a la hora de realizar el diseño, además el la Figura 23 vamos a encontrar el boceto y el listado de componentes de la alternativa 1

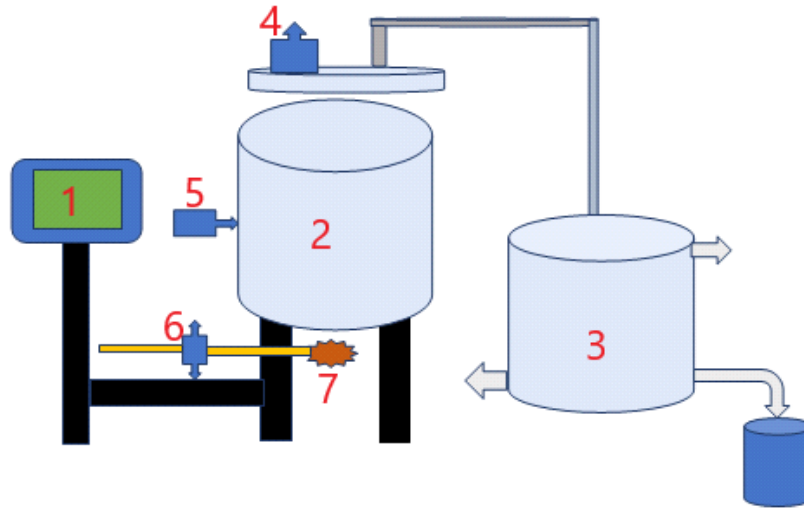
Tabla 9.

Especificaciones de alternativa 1

Partes	Ventajas	Desventajas
PLC	-Velocidad de respuestas. -Confiabledad. -Flexibilidad. -Diagnóstico y mantenimiento.	-Elevado Costos. -Limitaciones de capacidad. -Complejidad de programación.
Sin Estructura recipiente enfriador	-Menor costo de inversión. -Acceso rápido.	-Daños al recipiente. -Riesgos de tropiezo del operario.
Pantalla táctil	-Mayor capacidad de visualización. -Mayor flexibilidad. -Operación eficiente.	-Sensibilidad al entorno. -Dificultad de operación con guantes. -Riesgos de error táctil. -Elevado costo.

Figura 23

Alternativa 1



Fuente: (Autoría propia).

- 1) Pantalla táctil
- 2) Destiladora
- 3) Recipiente enfriador
- 4) Sensor de presión
- 5) Termocupla
- 6) Servo válvula
- 7) Quemador de gas

Alternativa 2: Destiladora con sistema de monitoreo y control con Arduino pantalla LCD y teclado, dos termocuplas y electroválvula de gas y sensor de presión con estructura para recipiente enfriador en la Tabla 10 podemos encontrar las partes, también ventajas y desventajas de la alternativa 2 esto con el fin de tenerlas en cuenta para el momento de realizar el diseño, además el la Figura 24 encontraremos el boceto y el listado de componentes de la alternativa 2.

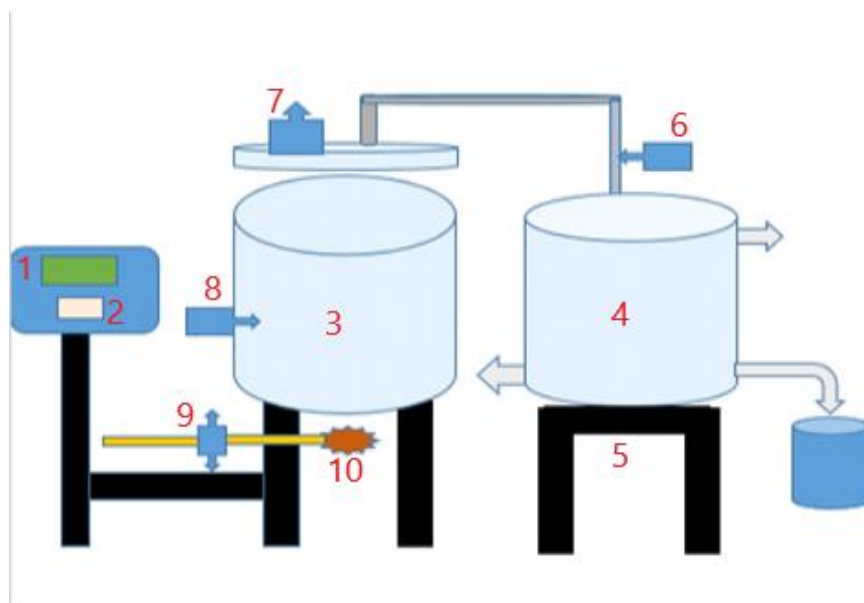
Tabla 10.

Especificaciones de alternativa 2

Partes	Ventajas	Desventajas
Tarjeta de control Arduino	-Bajo costo. -Escalabilidad. -Facilidad de uso y programación.	-Limitaciones en el rendimiento. -Resistencia.
Dos termocuplas	-Mayor precisión y confiabilidad. -Verificación de calibración. -Control del proceso más eficiente.	-Costos adicionales. -Complejidad del sistema. -Mayor consumo de energía.
Con Estructura para el recipiente del enfriador	-Estabilidad. -Seguridad. -Nivelación. -Mantenimiento y limpieza.	-Costos adicionales. -Movilidad reducida. -Tiempo y esfuerzo.

Figura 24.

Alternativa 2



Fuente: (Autoría propia).

- 1) Pantalla lcd
- 2) Teclado
- 3) Destiladora
- 4) Recipiente enfriador
- 5) base recipiente enfriador
- 6) Termocupla
- 7) Sensor de presión
- 8) Termo cupla
- 9) Servo válvula
- 10) Quemador de gas

Alternativa 3: Destiladora con sistema de monitoreo y control con Arduino pantalla lcd y teclado. Una termocupla y electroválvula de gas sin estructura base para el recipiente enfriador en la Tabla 11 podemos encontrar partes, también ventajas y desventajas de la alternativa 3 esto con el fin de tenerlas en cuenta a la hora de realizar el diseño.

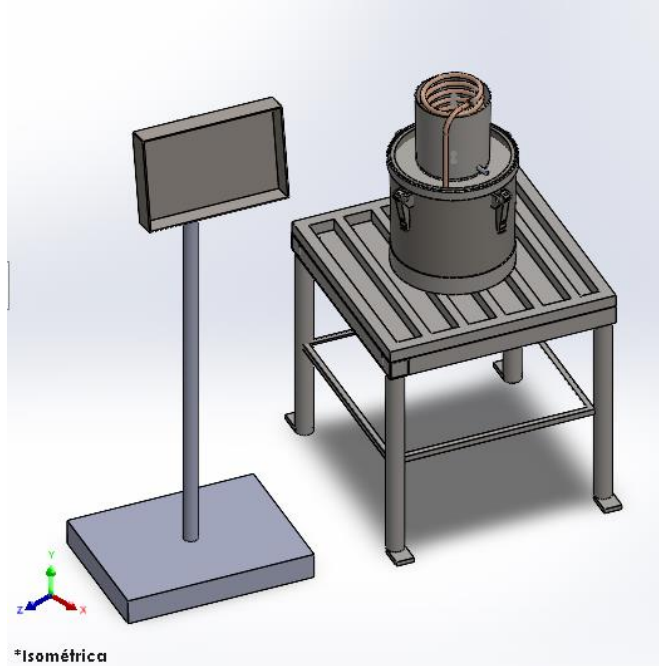
Tabla 11.

Especificaciones de alternativa 3

Partes	Ventajas	Desventajas
Arduino	-Bajo costo -Escalabilidad -Facilidad de uso y programación	-Limitaciones en el rendimiento. -Resistencia.
Dos termocuplas	-Mayor precisión y confiabilidad. -Verificación de calibración. -Control del proceso más eficiente.	-Costos adicionales. -Complejidad del sistema. -Mayor consumo de energía.
Con Estructura base para el recipiente Enfriador	-Estabilidad. -Seguridad. -Nivelación. -Mantenimiento y limpieza.	-Costos adicionales. -Movilidad reducida. -Tiempo y esfuerzo.
Sistema de recirculación de agua	-Eficiencia en el uso del agua. -Ahorro de costos en agua. -Mejora la estabilidad del proceso.	-Mayor consumo de energía. -Aumento de costo.

Figura 25.

Alternativa 3



Fuente: (Autoría propia).

2.2.2 Análisis técnico de los diseños potencialmente factibles.

En la Tabla 12 podemos evidenciar el análisis técnico de las alternativas lo que se realiza es una comparación de costo, capacidad, tiempo de destilado, alimentación, temperatura máxima y mínima esto con el fin de analizar cuál de las alternativas es más factible después de realizar el análisis se realiza la selección del mejor diseño mediante una matriz de decisión la cual la se realiza con los ponderados que se le asignan a cada especificación la cual la podemos encontrar en la Tabla 13 en la cual nos damos cuenta que la mejor alternativa es la numero 3 la cual tiene el menor porcentaje tanto como en costos además tiene capacidad aceptable la cual es igual a las demás en capacidad y además teniendo en cuenta que es un prototipo se busca la economía y la facilidad de encontrar los materiales en casos de reparación.

Tabla 12.

Análisis técnico de los diseños.

	Costo (COP\$)	Capacidad (Litros)	Tiempo de destilación (h)	Alimentación (voltios)	Temperatura máxima y mínima
Factor de ponderación	30%	20%	20%	20%	10%
Alternativa 1	\$ 3,500.000	13 L	4 H	110 V	78,3°C 100°C
Alternativa 2	\$ 3,000.000	12 L	3 H	24 V	78,3°C 100°C
Alternativa 3	\$ 2.500.000	10 L	3 H	12 V	78,3°C 100°C

2.2.2.1 Selección del mejor diseño mediante una matriz de decisión.

Tabla 13.

Selección del mejor diseño mediante una matriz.

	Costo	Consumo de energía	Capacidad de producción	Temperatura máxima y mínima	Total (%)
Factor de ponderación	40%	30%	20%	10%	100%
Alternativa 1	40%	20%	20%	10%	90%
Alternativa 2	30%	10%	20%	10%	70%
Alternativa 3	20%	9%	20%	10%	59%

Realizando la evaluación en el método de análisis se ha seleccionado la alternativa 3 como la más conveniente, debido a que el porcentaje fue de 59% lo cual se traduce en la mejor solución para el diseño a realizar.

2.2.3 Diseño detallado del prototipo de destiladora de bioetanol

Una vez seleccionado el diseño, se dio inicio al proceso de elaboración de un plano detallado del prototipo, el cual se encuentra debidamente identificado en la Figura 25. Para llevar a cabo esta fase, se recurrió al software SolidWorks, destacado por su eficacia como herramienta de apoyo. Este software no solo proporcionó una representación visual detallada de la estructura final de la máquina, sino que también facilitó la realización de simulaciones fundamentales para evaluar su funcionamiento.

Cabe destacar que la elección de SolidWorks como plataforma para la elaboración del diseño no fue fortuita, sino que respondió a la necesidad de contar con una herramienta robusta y precisa que garantizara una visión integral y estructural del prototipo. Asimismo, las simulaciones llevadas a cabo mediante este software permitieron anticipar posibles escenarios y optimizar aspectos clave del proyecto.

Para una mejor comprensión, se invita a consultar los planos en el Anexo 2, donde está la estufa y soporte; Anexo 3, se encuentra la olla destiladora; y el Anexo 4, está el plano del soporte del panel de control con las especificaciones técnicas. Al igual que todos los resultados obtenidos durante el proceso de diseño.

Se han definido medidas específicas para el volumen espacial en cuestión, con una altura de 880 mm, y anchos y profundidades de 546 mm y 485 mm, respectivamente, para la estufa y todo el sistema de destilado. Además, se incluye un panel de control con inclinación ajustable, donde se llevará a cabo la observación y control de todo el sistema de destilado, como se puede apreciar en la Figura 25. Para obtener más detalle de las medidas y planos del equipo de destilado y sus medidas a detalle, consulte el Anexo 1.

Antes de la construcción del soporte de la destiladora y el resto del equipo, se llevó a cabo una simulación de análisis por elementos finitos, como se ilustra en la Figura 26 adjunta. En este análisis se consideró una fuerza aplicada de 230 Newtons. Debido a que se tomó el aproximado del peso de la masa a soportar mediante el siguiente calculo.

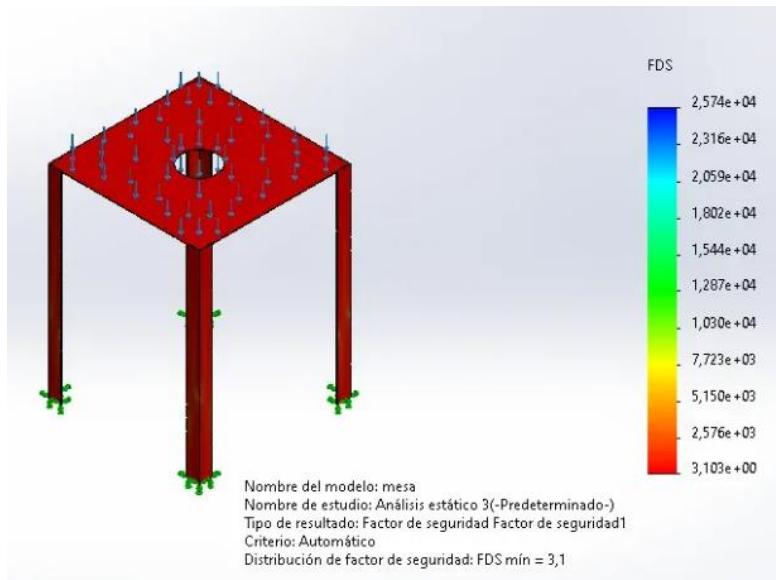
$$F = m \times a; \quad m = 23.47kg \quad a = \frac{9.8m}{s^2}$$

$$F = 23.47kg \times \frac{9.8m}{s^2}$$

$$F = 230N$$

Figura 26.

Análisis estático



Fuente: (Autoría propia).

En la escala de colores se representa los valores del factor de seguridad en diferentes regiones de la estructura. Las áreas rojas indican el Factor de Seguridad más bajo, alrededor de 3.1, lo que

sugiere un mayor esfuerzo o riesgo de falla. Por otro lado, las áreas azules tienen un Factor de Seguridad más alto, superando 2.5, lo que implica una mayor capacidad.

En el caso de este soporte estructural, el factor de seguridad mínimo es de 3.1, lo que sugiere un margen de seguridad considerable para las zonas más críticas. Sin embargo, es posible que se requieran refuerzos adicionales en las áreas con factores de seguridad más bajos para optimizar aún más el diseño y garantizar un nivel adecuado de seguridad y confiabilidad durante su operación.

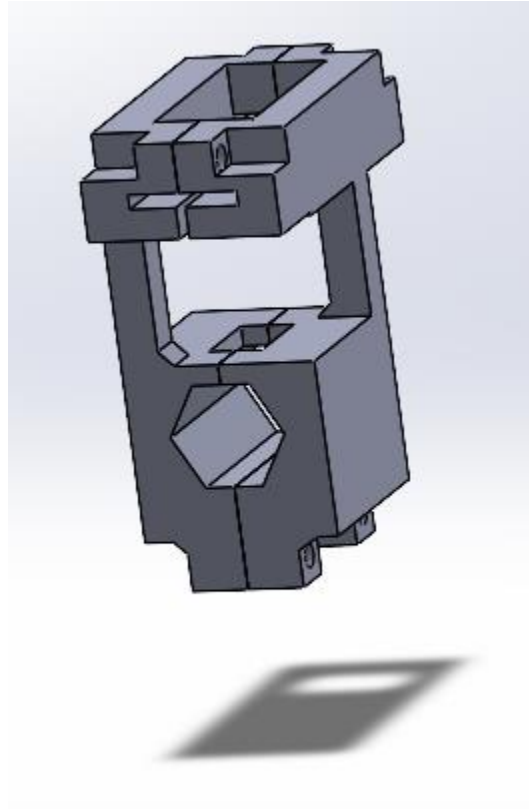
Por lo anterior, se tomó estas medidas preventivas y se eligió un soporte estructural en las bases de perfil redondo de 1mm en vez de soportes de ángulo 1/8x1mm, a su vez disminuyendo su longitud y como prevención se añadió un soporte a nivel de la mitad del largo del soporte de la estufa, así llegando a la estructura final, mostrado en el Anexo 2

Finalmente, se procedió al diseño en SolidWorks del soporte destinado a sostener el servomotor y la válvula en conjunto, como se muestra en la Figura 27 adjunta. Este diseño tiene como objetivo principal facilitar el control del flujo de gas, esencial para regular la temperatura en el proceso. Ante la necesidad de precisión en el control del paso de gas, se determinó la conveniencia de emplear un servomotor, elegido por su practicidad, junto con una válvula de gas de 1/4.

La elección de estos componentes se basó tanto en su funcionalidad como en su accesibilidad económica. En este sentido, el servomotor con piñonería metálica se consideró una opción idónea para garantizar un control preciso y confiable del flujo de gas, mientras que la válvula de gas de 1/4 se seleccionó por su tamaño adecuado y su capacidad para ajustarse a las necesidades del sistema.

Figura 27.

Soporte de servomotor y válvula.



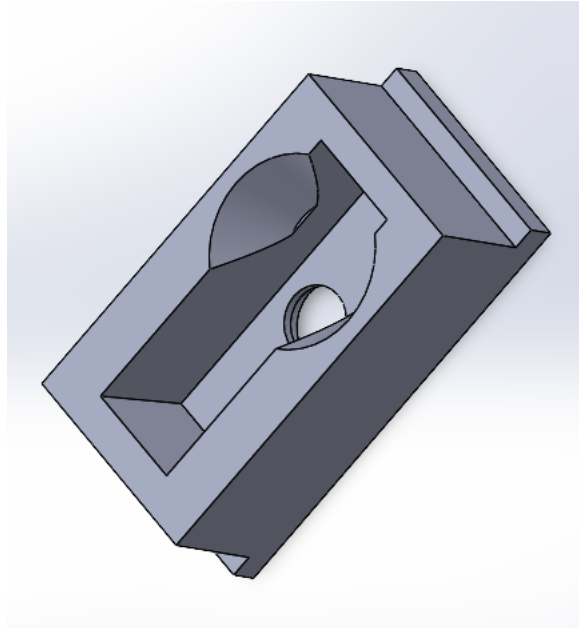
Fuente: (Autoría propia).

Con el objetivo de integrar de manera eficiente estos elementos y posibilitar su control remoto, se concibió el diseño del soporte, el cual ofrece una estructura estable y segura para sostener tanto el servomotor como la válvula. En este contexto, se contempló la inclusión de un acople de unión entre el eje final del servomotor y la palanca de apertura y cierre de la válvula, como se muestra en la Figura 28 adjunta.

Esta solución no solo permite mantener unidos estos componentes de manera práctica, sino que también facilita el control preciso de la apertura y el cierre del flujo de gas de forma remota. Mediante este acople, se optimiza el proceso de control de temperatura en la destiladora, proporcionando una mayor flexibilidad operativa y mejorando la eficiencia del sistema en su conjunto.

Figura 28.

Acople de unión de servomotor y válvula.



Fuente: (Autoría propia).

Para una comprensión más detallada del diseño del soporte mencionado anteriormente, se recomienda revisar el Anexo 5, donde está las medidas y detalles del soporte y en el Anexo 6, el acople.

2.3 Implementación del sistema de monitoreo diseñado en una destiladora de bioetanol comercial

2.3.1 Construcción del sistema de acuerdo con el diseño desarrollado.

Una vez seleccionado el diseño del soporte, se procedió a elegir los materiales adecuados para su construcción. En su mayoría, se optó por utilizar lámina de acero galvanizada de calibre 20, como se muestra en la Figura 29 adjunta. Esta elección se fundamentó en la resistencia y durabilidad

que ofrece el acero galvanizado, así como en su capacidad para resistir la corrosión, lo que resulta crucial en entornos industriales.

Figura 29.

Trabajo en lámina para la estufa.



Fuente: (Autoría propia).

Además del acero galvanizado, se emplearon varillas de hierro cuadradas y tubos de pulgada y media como soportes, como se ilustra en la Figura 30. Estos materiales fueron seleccionados específicamente por su geometría, que proporciona una excelente capacidad de soporte estructural. Las varillas de hierro cuadradas ofrecen rigidez y resistencia, mientras que los tubos de pulgada y media brindan estabilidad y robustez al conjunto.

Siguiendo los planos y medidas predeterminadas, se procedió a la construcción del soporte utilizando estos materiales seleccionados. Este enfoque garantiza la coherencia entre el diseño conceptual y la implementación práctica, asegurando que el soporte cumpla con los requisitos de resistencia, estabilidad y durabilidad necesarios para su función en la destiladora de bioetanol.

Figura 30.

Soporte tubos para el prototipo



Fuente: (Autoría propia).

Al consultar en el Anexo 7, está en evidencia el proceso de soldadura de electrodo; Anexo 8 y Anexo 9, proceso de ensamblaje de la estufa, esto dará una visión completa del proceso, desde la preparación de los materiales hasta el ensamblaje final del soporte.

En el Anexo 10, se adjunta el equipo destilador que se encontró en el mercado, a continuación, se da una descripción de la hoja de datos relacionada con la destiladora

Marca: VEVOR Modelo: 3 Gal Alcohol Still

Características Principales:

1. Capacidad: 3 galones (11.4 litros)

2. Dimensiones:

- Altura: 24.89 cm
- Ancho: 24.89 cm
- Largo: 24.89 cm
- Caldera: 9.8 x 9.8 pulgadas (25 x 25 cm)

3. Condensador: 7.9 x 4.3 pulgadas (20 x 11 cm)

4. Termómetros en Celsius y Fahrenheit incorporados

5. Bomba de circulación de agua para refrigeración

6. Materiales:

- Tubos de silicona aptos para uso alimentario

7. Componentes de acero inoxidable y cobre

8. Características Adicionales:

- Sellado hermético con anillos de silicona y hebillas de sellado mejoradas
- Válvula de escape unidireccional para control
- Aislamiento de goma debajo del condensador
- Fácil de operar y controlar temperatura
- Apto para uso doméstico en elaboración de vino y destilados

9. Peso: 3 galones

10. Origen: Estados Unidos

La elección de este de este tipo de destilador se debe a su capacidad adecuada para el volumen de producción deseado garantiza que podamos satisfacer nuestras necesidades de producción de manera eficiente. Además, su diseño funcional ofrece una operación sencilla y sin complicaciones, lo que facilita su uso en el contexto del proyecto en cuestión.

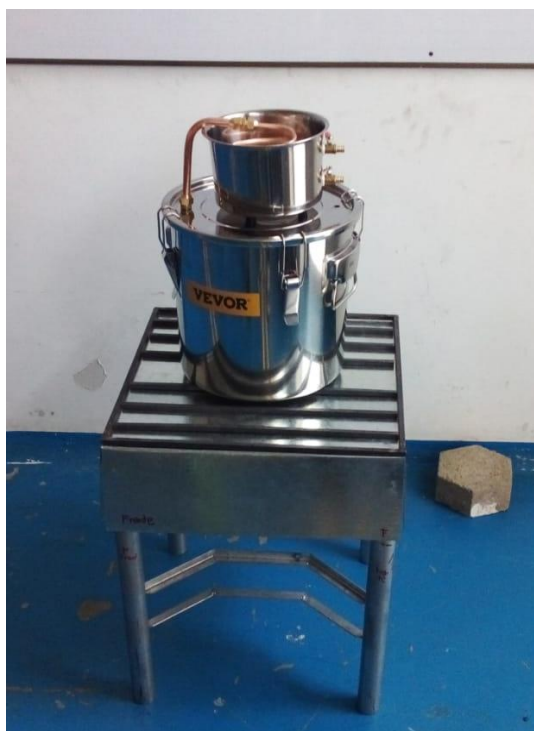
Uno de los aspectos más importantes a considerar es el material con el que está construido el equipo. Al ser no corrosivo, este material se adapta perfectamente al proceso de destilación de bioetanol, lo que garantiza la integridad del producto final y evita posibles contaminaciones que podrían comprometer la calidad.

Además, su tamaño compacto y adecuado lo hace ideal para adaptarse a diversos entornos de trabajo, facilitando su instalación y operación en el espacio disponible sin comprometer su eficiencia ni calidad en el proceso de destilación.

En la Figura 31 se presenta el equipo destilador completo, incluyendo las ollas destiladoras y la estufa con su estructura correspondiente. Se muestra la configuración integral y visión completa del sistema de destilación que se utilizará en el proyecto.

Figura 31.

Estructura final



Fuente: (Autoría propia).

La estructura del panel de control que albergará la parte electrónica, incluyendo el microcontrolador, están detallados con mayor precisión en las medidas en el plano del Anexo 4. El resultado final se puede observar en la Figura 32, donde se muestra la estructura completa.

Figura 32.

Estructura de panel de control



Fuente: (Autoría propia).

Finalmente, en cuanto la construcción se llevó a cabo la fabricación del sujetador mencionado en el diseño, el cual se divide en tres partes para alojar el servomotor y la válvula. Estas partes fueron impresas en una impresora 3D, utilizando material PLA y un relleno del 60%. La elección se debe a su facilidad de impresión y su resistencia adecuada para aplicaciones de este tipo.

El relleno del 60% proporciona una combinación óptima de resistencia y ligereza, asegurando que las partes impresas sean lo suficientemente robustas como para soportar las cargas y tensiones asociadas con el funcionamiento del servomotor y la válvula.

Los resultados finales fueron los mostrados en la Figura 33.

Figura 33.

Servoválvula



Fuente: (Autoría propia).

2.3.2 Diseño y Construcción del Soporte para la Parte Electrónica y el Sistema de Control

"En primer lugar, para asegurar una correcta conexión eléctrica y evitar posibles errores, se recurrió al apoyo de la herramienta software Proteus para diseñar un plano eléctrico detallado. Este proceso garantizó que todas las conexiones se realizaran de manera óptima. Se invita a consultar el Anexo 11 para verificar el plano eléctrico generado con esta herramienta.

En cuanto al hardware, se optó por la plataforma Arduino (Arduino Mega 2560) debido a su bajo costo, alta flexibilidad y conveniencia para el control requerido en el proyecto. Además, Arduino permite la fácil conexión de periféricos adicionales, como una pantalla LCD y un teclado, para la interacción con el operario; para mejor comprensión se puede dirigir al Anexo 18 para el diseño electrónico de todos sus componentes.

En paralelo a la construcción del hardware, se ha estado trabajando en el desarrollo del código de software para el proyecto. Para su fácil comprensión, se invita a revisar el Anexo 12 donde se detalla con un diagrama de flujo el funcionamiento completo. Este representa la lógica del sistema que controla un servomotor, monitorea la temperatura y maneja la interacción con el usuario a través de una pantalla LCD. A continuación, una explicación detallada de cada parte del diagrama, determinando la funcionalidad que tiene cada tecla:

1. Inicialización: El programa comienza inicializando los pines y componentes necesarios, como el servomotor y la pantalla LCD.
2. Bucle principal: Se ingresa en un bucle principal donde se verifica si hay una entrada del usuario.
 - Si no hay entrada, simplemente se espera.
 - Si hay entrada, se procesa según el caso correspondiente.

3. Casos de acción:

- Caso A: Realizar la funcionalidad principal, que es mover el servomotor a la posición deseada.
- Caso B: Activar un relé durante un breve período de tiempo, posiblemente para controlar otro dispositivo.
- Caso C: Reiniciar los datos del sistema.
- Caso D: Mostrar los datos actuales en la pantalla LCD.
- Caso E: Cambiar el tipo de dato que se está manejando (temperatura o tiempo).
- Caso F: Manejar el ingreso de números decimales por parte del usuario.

4. Monitoreo de temperatura: Se inicia un bucle de monitoreo de temperatura utilizando un termopar o termocupla.

- Se lee la temperatura actual.
- Se realizan acciones específicas según la temperatura y el tiempo ingresados por el usuario.
- Se muestra la temperatura y el tiempo en la pantalla LCD.

5. Ingreso de números: Se habilita el ingreso de números por parte del usuario.

- Si se ingresan números, se procesan y se actualiza la pantalla LCD.

6. Limpieza y visualización: En varios puntos del diagrama, se realizan tareas como limpiar la pantalla LCD, mostrar instrucciones iniciales, reiniciar variables y mostrar el tipo de dato actual (temperatura o tiempo).

Figura 34.

Pruebas con caudalímetro y Servoválvula



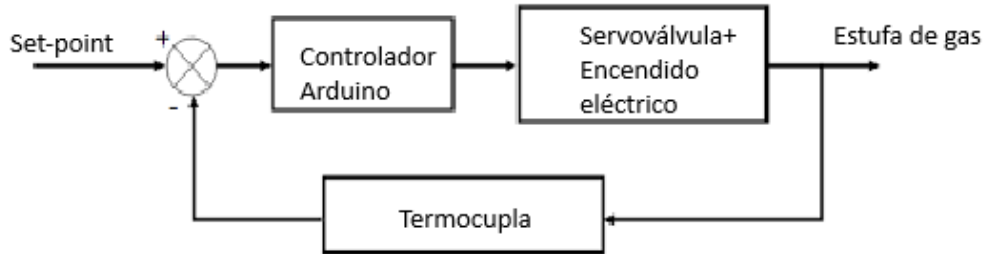
Fuente: (Autoría propia).

Por consiguiente, en la Figura 34, después de pruebas realizadas en banco de laboratorio con caudalímetro y servoválvula ya lograda, junto con datos consultados en la etapa bibliográfica, se llega a la conclusión de que los procesos de control de temperatura en destilación pueden evolucionar lentamente en el tiempo, lo que significa que cambios rápidos y precisos pueden no

ser necesarios o incluso contraproducentes por lo que a continuación en la Figura 35 se presenta el diagrama de bloques para el control On/Off en lazo cerrado.

Figura 35.

Diagrama de control



Fuente: (Autoría propia).

Donde, cada elemento se define:

1. Set-point: Ingreso de temperatura deseada para el proceso de destilado.
2. Controlador (Arduino): Recibe la señal de la termocupla, la compara con la temperatura deseada (Set-point) y se determina la acción de control necesaria.
3. Servoválvula + Encendido eléctrico (Actuador): Da inicio o cierra el proceso de ignición de la llama.
4. Sensor de Temperatura (Termocupla): Mide la temperatura del sistema y envía la señal al controlador.
5. Planta (Estufa de gas): Cambia la cantidad de calor suministrada al sistema según el flujo de gas.

6. Termocupla (Retroalimentación): Mide la nueva temperatura y es enviada para compararla con la temperatura ingresada del usuario.

Figura 36.

Formula del controlador

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } PV \geq SP + h \\ 1 & \text{si } PV \leq SP - h \\ u(t-1) & \text{en otros casos} \end{cases}$$

Fuente: (Autoría propia).

Donde:

PV es la variable del proceso, temperatura censada en tiempo real.

SP es el setpoint, temperatura a mantener durante el proceso.

h es la banda de histéresis, donde el controlador no cambia el estado del actuador.

$u(t-1)$ es el estado anterior del actuador.

La fórmula a la cual el controlador obedece es la presentada en la Figura 36, donde se considera una temperatura determinada por el usuario, aquí se añade un elemento más, histéresis, lo que significa que hay dos puntos de conmutación: uno para encender el actuador y otro para apagarlo, es decir, que el actuador no cambia de estado a menos que la variable de proceso (PV) se aleje del set-point (SP) por una cantidad de 5°C definida por la banda de histéresis.

Los beneficios de la implementación de la histéresis garantizan, estabilidad en la temperatura, la banda de 5 grados evita oscilaciones rápidas; reducción de desgaste, minimiza el encendido y apagado frecuente del calentador, prolongando su vida útil.

Agregando a lo anterior, es importante mencionar que las características propias del proceso de destilación, como la evaporación gradual y la separación de componentes, permiten que un control como el On/Off sea suficiente para mantener condiciones de funcionamiento adecuadas, dentro del diseño no se considera un enfriamiento forzado, en el prototipo se considera un proceso en el cual el calor se disipa sin la ayuda de dispositivos, utilizando únicamente la conducción, convección natural y radiación, a través, de una tubería en espiral expuesta al agua. En este método, el calor se transfiere desde el producto caliente hacia su entorno más frío, recirculación de agua, de una manera pasiva, haciendo que el destilado cambie el estado de materia de gaseoso a líquido.

Además, la utilización de este tipo de control garantiza que, en caso de una regulación inadecuada de la válvula, no exista un riesgo de apagar la llama y, como consecuencia, producir un escape de gas. Esta configuración proporciona una solución robusta y segura para el control del proceso de destilación, minimizando los posibles riesgos y garantizando un funcionamiento confiable y seguro del sistema.

2.3.3 Implementación del sistema de monitoreo en la destiladora

Una vez determinadas todas las conexiones y seleccionados los elementos electrónicos, tras abordar algunos problemas, se procedió a realizar las conexiones utilizando una PCB agujereada. Este tipo de placa proporcionó la facilidad necesaria para llevar a cabo todas las conexiones de acuerdo con el diagrama de conexiones previamente definido en el Anexo 18.

Es importante resaltar que, por consideraciones de practicidad y economía, se ha tomado la decisión de utilizar una fuente de computadora reciclada para proporcionar los diferentes voltajes y amperajes requeridos para cada elemento del sistema. En particular, se ha empleado una fuente de poder ATX de 750W con conector de 24 pines.

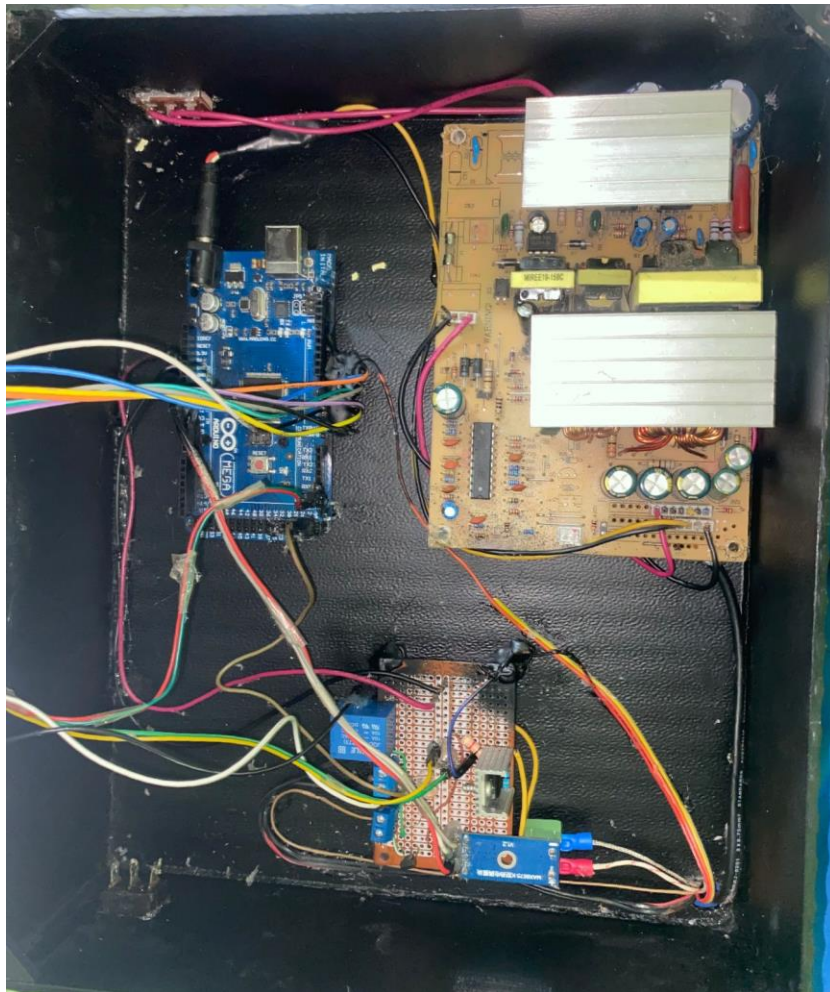
Además, es relevante destacar que en caso de que esta fuente sufra algún daño o fallo, su reemplazo es fácil de conseguir o reparar. Dado que las fuentes de poder ATX son comunes y

ampliamente disponibles en el mercado, encontrar un reemplazo compatible sería una tarea relativamente sencilla.

La Figura 37 muestra el circuito resultante, donde se pueden apreciar las conexiones realizadas y la disposición de los componentes electrónicos en la PCB agujereada. Este circuito es el resultado de un proceso meticuloso de diseño y construcción, que garantiza un funcionamiento óptimo y confiable del sistema de control para la destiladora de bioetanol.

Figura 37.

Montaje eléctrico del circuito en general



Fuente: (Autoría propia)

Figura 38.

Resultado final e implementación



Fuente: (Autoría propia).

- 1) Cilindro de gas
- 2) Recipiente enfriador
- 3) Destiladora
- 4) Mesa soporte o estufa
- 5) Teclado
- 6) Lcd
- 7) Panel de control
- 8) Toma de corriente de 110 voltios
- 9) Tubería de agua
- 10) Soporte panel de control

En la Figura 38 se presenta la estructura completa, integrando tanto la parte electrónica como los demás componentes, listos para iniciar las pruebas de funcionamiento y obtener las primeras muestras del producto.

Ahora, con todas las piezas en su lugar, se prepara para iniciar las pruebas y validar el funcionamiento del equipo, si se quiere apreciar a detalle los elementos utilizados revisar el Anexo 13.

En este momento se marca el inicio de una nueva etapa en el proyecto, donde podremos evaluar el funcionamiento del sistema, identificar posibles áreas de mejora y, finalmente, alcanzar nuestros objetivos de producción de bioetanol de manera eficiente y efectiva a continuación en la Tabla 14 apreciaremos datos sobre las pruebas que se realizaron en el prototipo.

2.4 Verificar el funcionamiento del sistema en un entorno controlado.

Una vez terminado el prototipo, se procede a realizar las pruebas y para determinar el comportamiento que el proceso va a seguir; en primera instancia, tener en cuenta los procesos industriales, especialmente en la destilación, controlar la presión es esencial para manejar los puntos de ebullición de los componentes y mejorar la separación de estos.

Importante, mencionar las leyes de gases y recordar que, al reducir la presión en el sistema, los puntos de ebullición de los componentes disminuyen, por lo que en condiciones normales; la presión atmosférica estándar 1 atm. Teniendo en cuenta esto, se realiza el cálculo a que temperatura está el punto de ebullición de destilado, a través de la ecuación de Antoine.

La ecuación de Antoine es:

$$\log_{10}(P) = A - \frac{B}{C + T}$$

Donde P es la presión de vapor, T es la temperatura (en °C), y A , B , y C son las constantes específicas para cada sustancia.

Las constantes de Antoine para el estanol son:

$$A = 8.20417$$

$$B = 1642.89$$

$$C = 230.3$$

Para la presión de 1 atm, que equivale a 760mmHg.

$$\log_{10}(760) = 8.20417 - \frac{1642.89}{230.3 + T}$$

Por lo tanto, el punto de ebullición del etanol a 1 atm (760 mmHg) es aproximadamente 78.34°C.

Ahora se procede a calcular el volumen del vapor generado a 78.34°C.

Tenemos la ley de los gases

$$PV = nRT$$

Donde:

P = presión (1 atm)

V = el volumen a encontrar

n = 1 mol (cantidad de etanol)

R = 0.0821 L·atm/(K·mol) (constante de los gases ideales)

T = 351.49 K (temperatura en Kelvin)

$$V = \frac{1 \times 0.0821 \times 351.49}{1}$$

$$V = 28.85L$$

Esto significa que, a 1 atm de presión y 78.34°C, 1 mol de etanol generará aproximadamente 28.85 litros de vapor. Esto se debe a la expansión del gas al convertirse de líquido a vapor.

Para mejor comprensión se convierte 1 mol de etanol (46.07 g/mol) a volumen en fase líquida.

Densidad del etanol a 78.34°C: aproximadamente 0.789 g/cm³.

$$\text{Volumen del liquido} = \frac{46.07g}{0.789g/cm^3}$$

$$\text{Volumen del liquido} = 58.4 \text{ cm}^3 = 0.0584L$$

Comparando los dos volúmenes:

- Líquido: 0.0584 L.
- Vapor: 28.85 L.

Esto muestra la gran expansión de vapor que según la Ley de los Gases Ideales y refleja la expansión significativa del volumen cuando el etanol cambia de fase líquida a gaseosa.

Tabla 14.

Pruebas realizadas

Prueba	Materia prima	Cantidad entrada	Cantidad final	Tiempo	Temperatura
Prueba 1	Fermentado de papa	12 litros	1.7 litro	4 horas	78°C a 100°C
Prueba 2	Fermentado de caña de azúcar	12 litros	2.5 litro	4 horas	78°C a 100°C

2.4.1 Descripción del entorno controlado

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en dos ubicaciones diferentes:

2.4.1.1 Laboratorios de la Universidad Mariana - Sede Campus Alvernia: Las pruebas iniciales del sistema de monitoreo y control se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Mariana, ubicados en la sede Campus Alvernia. Este laboratorio proporcionó un entorno controlado y seguro para la configuración inicial del sistema y la realización de pruebas preliminares. Para realizar la prueba inicial se utilizó materia prima de fermentado de papa con un volumen de 12 L, la cual se dejó en fermentación durante un tiempo de 8 días. Posteriormente, se inició el proceso de destilación en el laboratorio de máquinas, con la supervisión del laboratorista. Se programó un tiempo de destilado de 4 horas. Además, para poder realizar la prueba inicial, se llevó a cabo una inspección de fugas en la línea de gas construida, con el fin de garantizar la seguridad durante el proceso de destilación. Una vez finalizado el proceso, se obtuvieron 1.7 litros como producto final. A continuación, se procedió a llevar muestras al laboratorio para realizar pruebas de pH, temperatura y grado alcohólico. No se requirieron requisitos especiales de instalación para llevar a cabo la prueba en este entorno, pero como medida de seguridad se contó con un extintor en el laboratorio, así como con gafas de seguridad, overol, botas y guantes. También se tuvo acceso a gas propano y a un tomacorriente de 110V. En el Anexo 19 se puede apreciar fácilmente el entorno donde se llevaron a cabo las pruebas.

2.4.1.2 Trapiche-Llorente: Posteriormente, las pruebas con caña de azúcar se llevaron a cabo en un trapiche en el corregimiento de Llorente. Aunque el prototipo se trasladó a este lugar para realizar las pruebas con el producto real, es importante destacar que se eligió el trapiche debido a la accesibilidad para adquirir la materia prima, en este caso la caña de azúcar. Esto se debe a que en la ciudad de Pasto no es fácil encontrar trapiches ni cultivos de caña de azúcar. A pesar de que el prototipo se ubicó en Llorente, se realizaron pruebas del producto final en el laboratorio de la Universidad Mariana, el cual fue utilizado para el análisis del destilado, donde se tomaron medidas de pH, temperatura y grado alcohólico. No se requirieron requisitos especiales de instalación en este entorno.

Debido a que para llevar a cabo el proceso de destilado fue necesario realizar un tratamiento de fermentación de guarapo de caña en recipientes de 10 a 20 litros, dependiendo de la cantidad deseada, en este caso se fermentaron 12 litros, los cuales se dejaron en reposo durante 8 días. Posteriormente, se procedió a realizar el proceso de destilado, el cual se programó para una

duración de 4 horas. Una vez finalizado el proceso de destilación, se obtuvo una cantidad de 2.5 litros como producto final, de los cuales se tomó una muestra para realizar las medidas, las cuales se detallan en la Tabla 14. Es importante destacar que para la instalación se necesitó acceso a un tanque de gas, además de energía para alimentar el circuito de control de la destiladora durante las pruebas en Llorente. En la Figura 35 se puede apreciar el lugar de implementación.

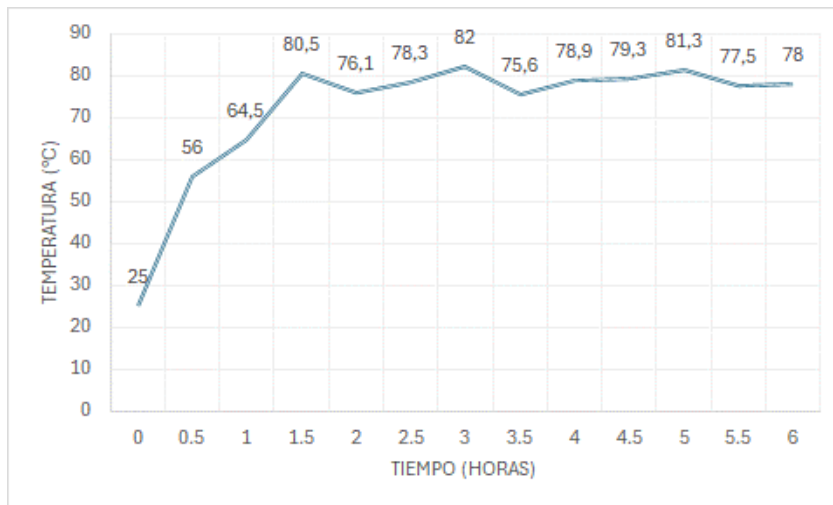
2.4.2 Procedimiento de verificación

2.4.2.1 Análisis de la histéresis de la temperatura en el tiempo

La histéresis de la temperatura garantiza la estabilidad del proceso, por lo que para este caso se ingresó un set-point de 78,5°C con histéresis ya configurada desde un inicio de 5°C. Se analiza las temperaturas que toma el producto a lo largo de 6 horas, con un censado cada 30 minutos, en la Figura 39, aparece un diagrama de control con los valores que esta variable a controlar toma en función del tiempo.

Figura 39.

Diagrama de control



Fuente: (Autoría propia).

2.4.2.2 Balance de Materia para Destilado de Caña de Azúcar

Entradas:

- Caña de azúcar = 11 litros
- Fermentación = 8 días
- Caña de azúcar → Zumo fermentado + Residuos

Destilación (salida):

- Zumo fermentado → Destilado + Bagazo
- Destilado obtenido = 2.5 litros
- Residuo = 7 litros (Aproximadamente)

Rendimiento del proceso:

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Destilado obtenido}}{\text{Caña de azúcar}} \right) \times 100$$

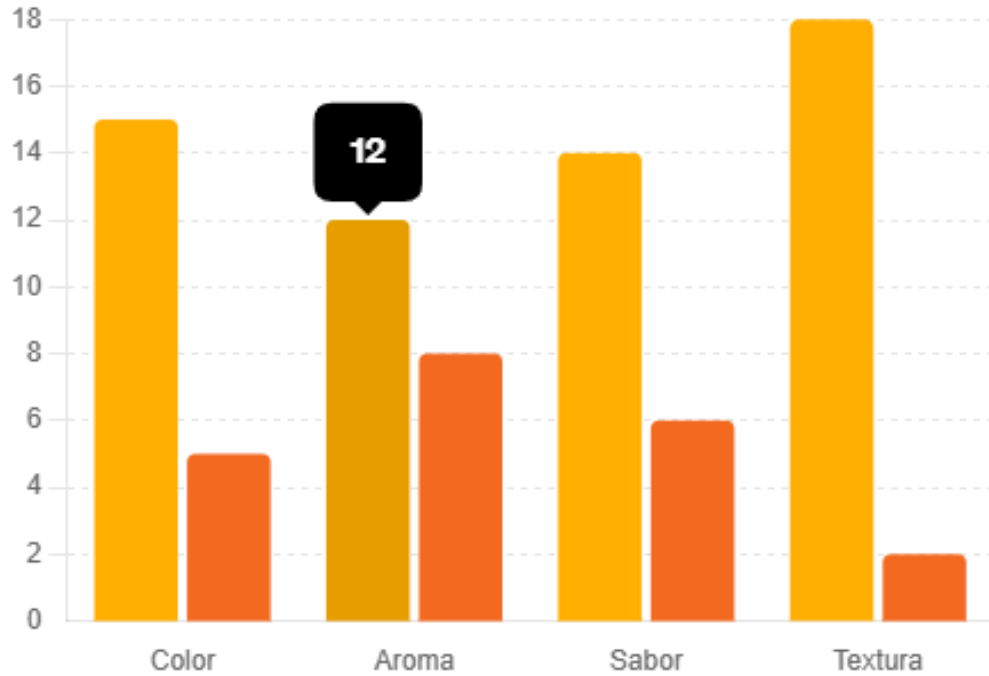
$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{2.5 \text{ litros}}{11 \text{ litros}} \right) \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 22.7\%$$

2.4.2.3 Análisis Sensorial. Después que se tomaron muestras periódicas del producto final destilado para el análisis se hace una encuesta a un grupo de 20 de personas en donde posteriormente se consignan en la Tabla 15 los resultados para el destilado proveniente de la caña de azúcar, recordando que también se hizo pruebas con fermentado de papa.

Figura 40.

Resultados de encuesta



Fuente: (Autoría propia).

En la Figura 40, están los resultados de la encuesta, a continuación, las respuestas para cada característica:

1. Color:

Incoloro transparente: 15 respuestas

Ligeramente amarillo: 5 respuestas

2. Aroma:

Alcohólico característico: 12 respuestas

Dulce: 8 respuestas

3. Sabor:

Ligeramente dulce: 14 respuestas

Amargo: 6 respuestas

4. Textura:

Líquido: 18 respuestas

Viscoso: 2 respuestas

Tabla 15.

Análisis Sensorial

Color	Aroma	Sabor	Textura
Incoloro transparente	Alcohólico característico	Ligeramente dulce	Líquido

2.4.2.4 Toma de datos de las muestras.

Tabla 16.

Análisis de pruebas de destilado

Pruebas	PH	Temperatura	Grados alcohólicos
Producto 1	6.55	22.2°	40°
Producto 2	7.95	21.2°	50°

En la Tabla 16 se presentan los resultados de dos pruebas de destilación realizadas en la misma planta. Se llevaron a cabo mediciones de pH, temperatura y grado alcohólico en las

muestras obtenidas. Según, el Anexo 14, el producto 1 tiene un pH de 6.55, lo cual indica una ligera acidez, mientras que el producto 2, como se muestra en el Anexo 15, tiene un pH de 7.95, mostrando una ligera alcalinidad.

Además, se registraron las temperaturas de los productos, siendo 22.2°C para el producto 1 y 21.2°C para el producto 2. Aunque la diferencia es mínima, puede influir en la evaporación de los productos. También se registraron los grados alcohólicos, donde el producto 1 tiene 40° y el producto 2 tiene 50°, lo que indica una mayor concentración de alcohol en el segundo producto.

Es importante destacar que, a mayor contenido de alcohol, el sabor del producto tiende a ser más fuerte, mientras que el producto con menor concentración de alcohol suele tener un sabor más suave y agradable.

En los Anexos 14, 15 y 16 proporcionan imágenes de los productos y los componentes utilizados para las mediciones correspondientes. Estas imágenes sirven como apoyo visual para confirmar los datos presentados en la Tabla 14, fortaleciendo así la validez de los resultados obtenidos.

2.5 Discusión

Para el desarrollo del sistema de monitoreo para la destiladora destacamos la importancia de diseñar el sistema de monitoreo y control para el proceso también para asegurar la eficacia de la parte operativa del sistema como la calidad del producto final. La supervisión en tiempo real de variables críticas como temperatura, y el tiempo de producción resulta vital para optimizar el proceso de destilación y garantizar que el bioetanol producido cumpla con una calidad de óptimas complicaciones.

De tal manera, se resalta la necesidad de analizar en detalle las variables claves de cada etapa del proceso de destilación, lo cual proporciona una comprensión detallada de los factores que influyen en la calidad del producto.

Perspectivas y futuras posibles aplicaciones futuras de este sistema de monitoreo en otros procesos industriales y su potencial para la mejora continua en la producción de biocombustibles.

3 Conclusiones

Se lograron identificar y caracterizar las principales variables involucradas en las etapas del proceso de destilación para la obtención de bioetanol, tales como temperatura y tiempo. Además, se establecieron las especificaciones de desempeño requeridas para un adecuado control y monitoreo de estas variables durante el proceso.

El diseño propuesto para el sistema de monitoreo y control de la destiladora de bioetanol cumple con los requerimientos establecidos. Mediante un enfoque metodológico que involucró la evaluación de alternativas, análisis técnicos y simulaciones, se logró desarrollar un diseño integral que combina componentes electrónicos y estructuras mecánicas para controlar de manera precisa los parámetros críticos del proceso por medio del control del flujo de gas.

El sistema de monitoreo y control diseñado se implementó con éxito en una destiladora de bioetanol comercial de 3 galones de capacidad. Esto se logró mediante la construcción de las estructuras de soporte, el ensamblaje de los componentes electrónicos y la programación del sistema de control basado en Arduino.

Las pruebas realizadas en entornos controlados, tanto en el laboratorio de la universidad como en un trapiche en Llorente, permitieron verificar el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo y control implementado. Se obtuvieron muestras de destilado de bioetanol a partir de diferentes materias primas (caña de azúcar y papa), y se analizaron satisfactoriamente parámetros como pH, temperatura, grado alcohólico, balance de materia y análisis sensorial.

Para finalizar, cabe resaltar el cumplimiento de los objetivos específicos, desde la caracterización de variables hasta la implementación y verificación exitosa del sistema de monitoreo y control en la destiladora de bioetanol.

4 Recomendaciones

Se sugiere considerar la implementación de un sistema de enfriamiento, como un intercambiador de calor o un sistema de refrigeración activo, para mejorar la eficiencia del proceso de condensación y obtener un producto de mejor calidad.

Además, de la temperatura y el tiempo, se recomienda explorar la incorporación de otros sensores relevantes, como sensores de nivel, sensores de composición química, sensor de presión para obtener un monitoreo más completo del proceso y ajustar los parámetros de control en consecuencia.

Se sugiere explorar la implementación de una interfaz de usuario más avanzada, como una pantalla táctil o una aplicación móvil, para facilitar la interacción del operador con el sistema y mejorar la visualización de datos con un monitoreo remoto, como redes inalámbricas o internet de las cosas (IoT).

5 Referencias Bibliográficas

- Aburto, J., Martínez, T., & Murrieta, F. (enero de 2008). Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 23(1), 23-30. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48223104.pdf>
- Arango Marín, L. V., & Gómez Quintero, D. F. (2021). *Elaboración de manual de instrucciones para el desarrollo del trabajo con el banco de ensayos CE640 producción biotecnológica de etanol adquirido por el programa de ingeniería mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/84ef109a-e554-435c-8529-a2da2af4550d/content>
- Arteaga, P. M. (s.f.). *Aplicaciones del alcohol etílico*. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m7.html>
- Barrios Quiroga, K. A. (2019). OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DE ELABORACIÓN DE CAÑAZO (AGUARDIENTE DE CAÑA DE AZÚCAR) EN INDUSTRIA ARTESANAL, CAÑA REAL (Tarija). *Repositorio UAJMS*. Obtenido de <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/198>
- Bello-Pérez, A.-G. (marzo de 2018). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967#aff1
- Beso, A. A. (2023). Empleo de la destilación cíclica en la producción de alcohol de grado alimenticio. Obtenido de <http://digital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/65435521/72991>
- Camacho Zarate , L. M., Gallego Puentes, K. L., & Cañón Palacios, J. S. (2020). Propuesta de un sistema de monitoreo para la obtención de Bioetanol a partir de la caña de azucar con fines energeticos. Bogota, Colombia, Colombia.
- Canto, C. (2021). *Automatizacion general: Conceptos*. Obtenido de http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/3_AUTOMATIZACION_GENERAL.PDF
- ChemEnggHelp. (2023). *Ethanol Distillation (Rectified Spirit) in Distillery*. Obtenido de <https://www.chemengghelp.com/ethanol-distillation-rectified-sprit-in-distillery/>

- Chemistry LibreTexts. (2023). *Fractional Distillation of Non-ideal Mixtures (Azeotropes)*.
Obtenido de
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Equilibria/Physical_Equilibria/Fractional_Distillation_of_Non-ideal_Mixtures_\(Azeotropes\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Equilibria/Physical_Equilibria/Fractional_Distillation_of_Non-ideal_Mixtures_(Azeotropes))
- Di Carlo, S. M., Puyol, F. V., & Vazquez Werhrhahne, R. B. (2018). *Diseño de una planta de producción de bioetanol*. Obtenido de RINF:
<http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/338/SMDiCarlo%2BFVPuyol%2BRBVazquezWehrhahne-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Días, M., & Vargas, X. (2021). *Diseño de una destiladora industrial de alcohol*. Obtenido de
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8268/1/PI-001892.pdf>
- Díaz, J. (2018). *Destilados*. Obtenido de <https://revistaelconocedor.com/la-tecnica-de-destilacion/>
- Díez, J. (30 de julio de 2018). Obtenido de <http://revistaelconocedor.com/wp-content/uploads/2018/07/destilados.jpg>
- Gómez, A., & Pérez, A. B. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *52(7)*, 967-990. Obtenido de Agrocienca:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967#aff1
- Guangasi Pilapanta, C. D., & Noboa Rivera, D. S. (2016). Diseño e implementación de un sistema de lazo cerrado para el control del proceso de destilación de alcohol fermentado en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Obtenido de
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6011>
- Guarnición. (1992). Implementación de Sistemas de Control para la Optimización de Procesos de Destilación. Obtenido de
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185853/Munoz%20-%20Diseno%20del%20proceso%20de%20produccion%20de%](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185853/Munoz%20-%20Diseno%20del%20proceso%20de%20produccion%20de%20)
- Hou, W., Zhang, Q. & Zeng,. (2020). Economically and thermodynamically efficient heat pump-assisted side-stream pressure-swing distillation arrangement for separating a maximum-boiling azeotrope. *173*. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431119361691>

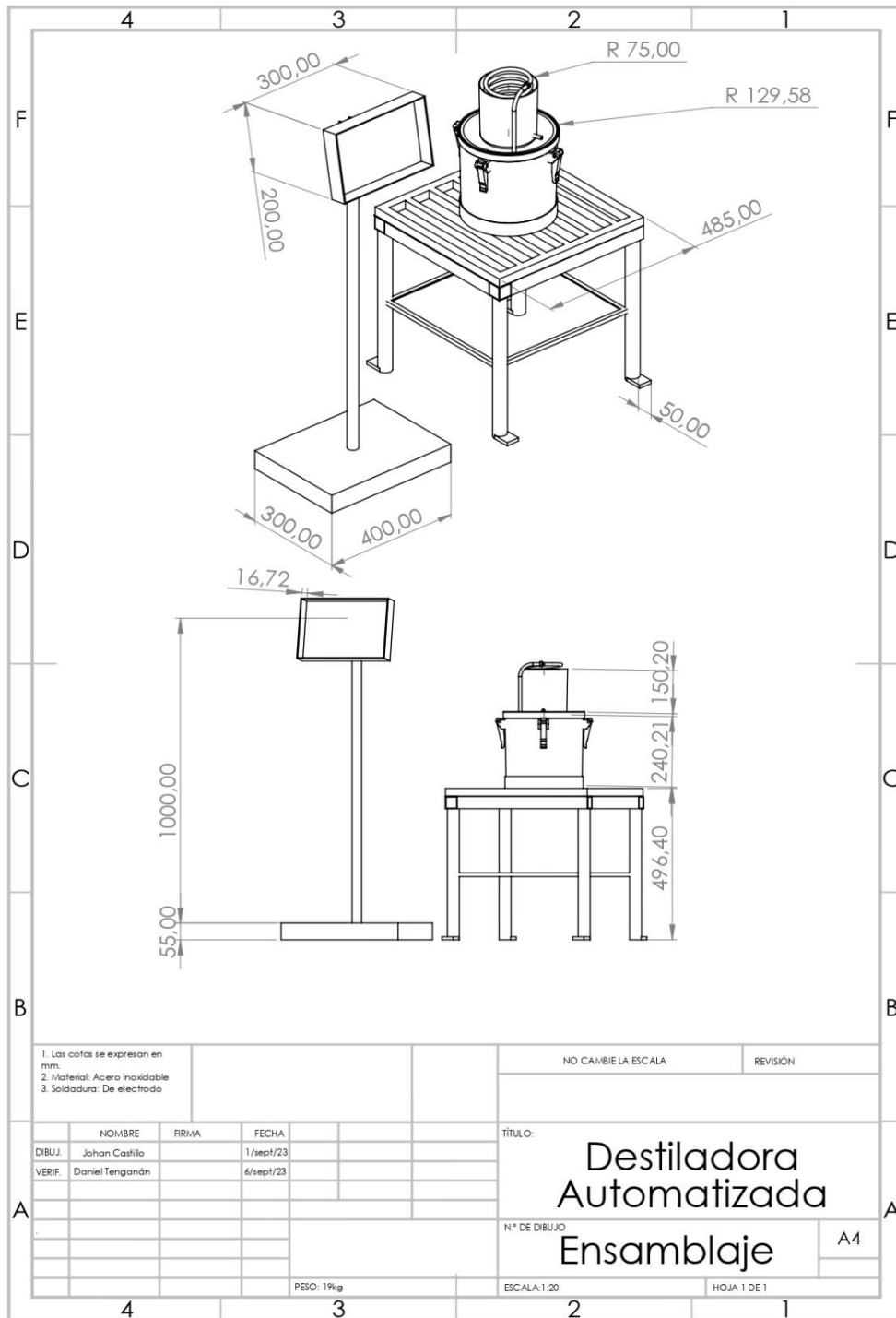
- Huang, K. (2021). Implementación y comparación de esquemas de control de temperatura diferencial en columnas de destilación. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/bitstreams/84ef109a-e5d54-435c-85d29-a2da2af4550d/content>
- Iberian Coppers. (2023). *Precauciones de Seguridad*. Obtenido de <https://www.copper-alembic.com/es/pagina/precauciones-de-seguridad>
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA,. (26 de julio de 2019). Obtenido de <https://www.ica.gov.co/noticias/narino-fortalece-produccion-de-panela#:~:text=Nari%C3%B1o%20ocupa%20el%206%20lugar,%C3%A1rea%20aproximada%20de%2017.500%20hect%C3%A1reas.>
- Jaramillo Ruiz, G. J. (2009). *Construcción de un prototipo de una planta portatil para produccion de bioetanol hidratado*. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4330/GustavoJose_jaramillo.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Jiménez Muñoz, F., Carreño Cifuentes, D., & Martínez Rodríguez, F. (1 de enero de 2016). Determinación de algunas constantes fisicoquímicas de mezclas ternarias solventes de uso farmacéutico. Parte II. Densidad. *45(2)*, 270-289. Obtenido de *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rccquifa/article/view/56521/55468>
- Johnson, C. (2023). *Measuring Pressure with Bridge-Based and Other Pressure Sensors*. Obtenido de [https://www.ni.com/es-co/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals/measuring-pressure-with-bridge-based-and-other-pressure-sensors.html#:~:text=La%20unidad%20SI%20para%20la,\(mm%20Hg\)%20y%20torr](https://www.ni.com/es-co/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals/measuring-pressure-with-bridge-based-and-other-pressure-sensors.html#:~:text=La%20unidad%20SI%20para%20la,(mm%20Hg)%20y%20torr)
- Luyben, W. (2017). Controlabilidad dinámica de la clasificación de mezclas ternarias en procesos de destilación a diferentes presiones.
- Mathewson, S. (s.f.). *Destilación*. Obtenido de Teoría de la destilación: <https://journeytoforever.org/es/biocombustibles/produccion-casera-etanol/destilacion.cgi>
- Mathewson, S. (s.f.). *Destilación*. Obtenido de Teoría de la destilación: <https://journeytoforever.org/es/biocombustibles/produccion-casera-etanol/destilacion.cgi>

- Medina Palacio, M. P., & Peraza Garzon, E. A. (julio de 2019). *Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura para el proceso de destilación en la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/22356>
- Montoya R, M. I., Quintero S, J. A., Sanchez T, O. J., & Cardona A, C. A. (6 de Junio de 2005). Evaluación económica del proceso de obtención de alcohol carburante. *REVISTA Universidad EAFIT*, 41, 76-87. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/bcab7437-5749-4890-a049-e45edbdfd61d/content>
- Mora, J. U., Girón, L. E., & Lozano Ramírez, A. (febrero de 2022). Estimación de una función de producción de una plantación cañera en Colombia. 27(53). Obtenido de <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/654321/7299>
- Muñoz Ortuño, L. (2021). *Diseño del proceso de producción de bioetanol*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185853/Munoz%20-%20Diseno%20del%20proceso%20de%20produccion%20de%20bioetanol.pdf?sequence=1>
- Orozco Murillo, W. (2010). *Destilación al Vacío de Etanol usando Bomba Chorro*. (T. Lógicas, Editor) doi:10.22430/22565337.120
- Paguay García, M. V. (2016). *Evaluación de riesgos laborales en la producción de alcohol destilado de la caña de azúcar en Ecuador*. Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/76848>
- Pesantes Alvarez, C. M., & Puco Toaquiza, J. D. (sep de 2020). *Implementación de una máquina automatizada destiladora de etanol para disminuir el tiempo del proceso y mejorar la calidad del producto*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8367>
- Pesantez Alvarez, C. M., & Puco Toaquiza, J. D. (2020). *mplementación de una máquina automatizada destiladora de etanol*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8367>
- Physics Experiments. (Agosto de 2022). *Collection of Physics Experiments*. Obtenido de Dependence of Boiling Point of Water on Pressure: <http://physicsexperiments.eu/1707/dependence-of-boiling-point-of-water-on-pressure>
- química. (2023). *Presión*. Obtenido de <https://amyd.quimica.unam.mx/mod/resource/view.php?id=1857>

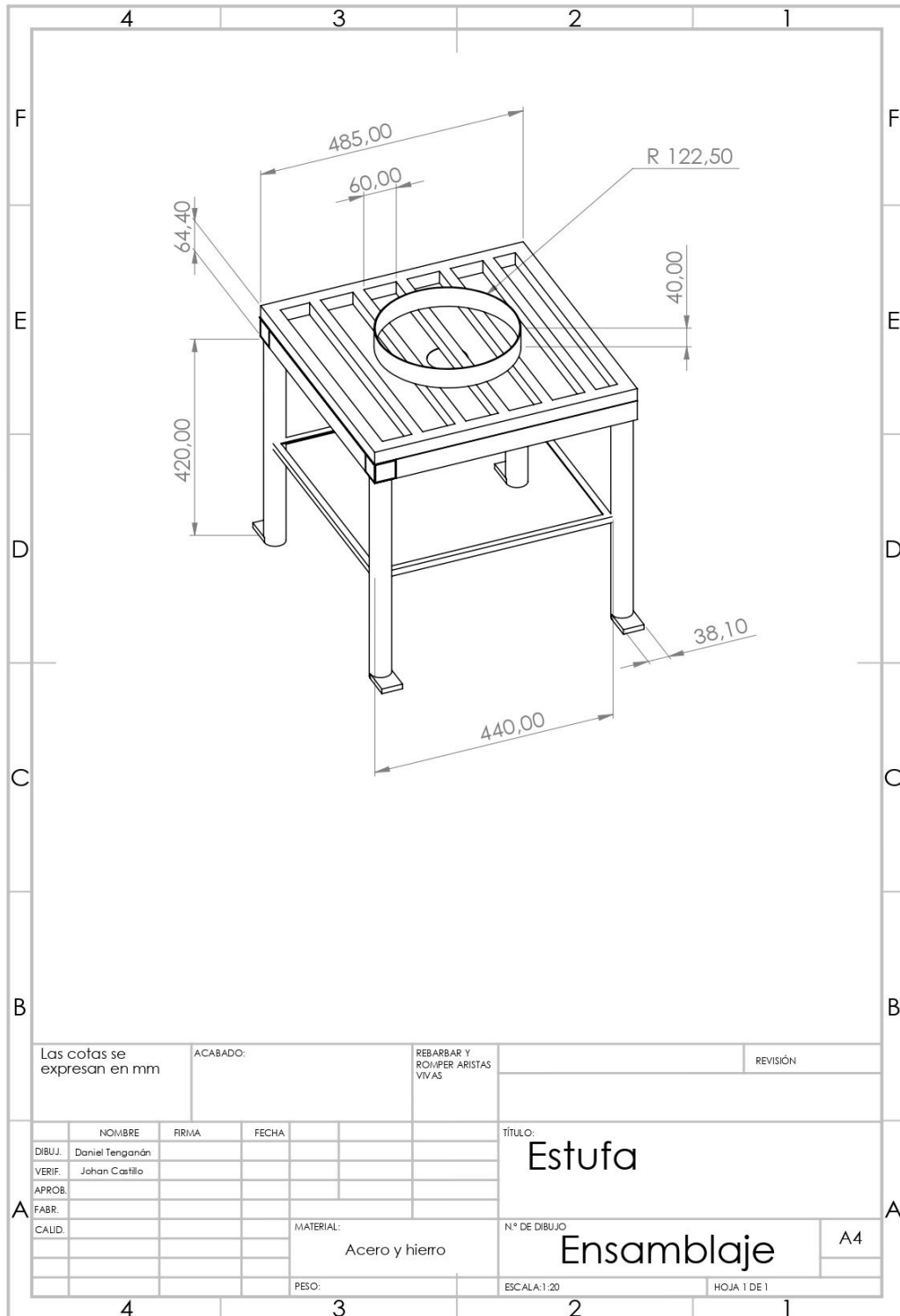
- Rambla, O., Miguel, A., García, R., Pérez, M. C., Martínez, J. A., Vasallo, M. C., . . . Bello, D. (enero de 2009). Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. *XLII*(1), 17-22. Obtenido de CIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120657003.pdf>
- Redmidia. (28 de mayo de 2015). Bioetanol. *[Imagen]*. Obtenido de <https://redmidia.com/alimentos/bioetanol/>
- Roland, G. (2016). Obtenido de <https://c8.alamy.com/compes/bww596/suiza-europa-aguardiente-de-fruta-canton-schwyz-oberarth-destilacion-artesanal-destileria-schnapps-procesamiento-de-hombre-bww596.jpg>
- Roldan, J., Fracua, C., & Dueñas, A. (2003). Intoxicación por alcoholes. *Anales Sis San Navarra*, 26(1), 129-139. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200007
- Santos, O. (2006). Optimización de Plantas de Destilación Mediante Simulación y Medición Experimental. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&
- Sol, L. (2023). optimización del proceso de separación de mezclas de isopropanol-butanol-etanol (IBE). Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/368754829/>
- Tomas, B. (2009). *El papel del etanol como combustible renovable y la importancia de las curvas de destilación en la optimización de procesos*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/sS1405-31952018000700967#aff1>
- Villalta, W. (2012). *Beneficios de la panela producida orgánicamente frente al azúcar blanca*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3346/1/TESIS.pdf>
- Vinothkumar, C. (2017). Control y optimización del proceso de destilación en la industria farmacéutica mediante PLC y SCADA.

6 Anexos

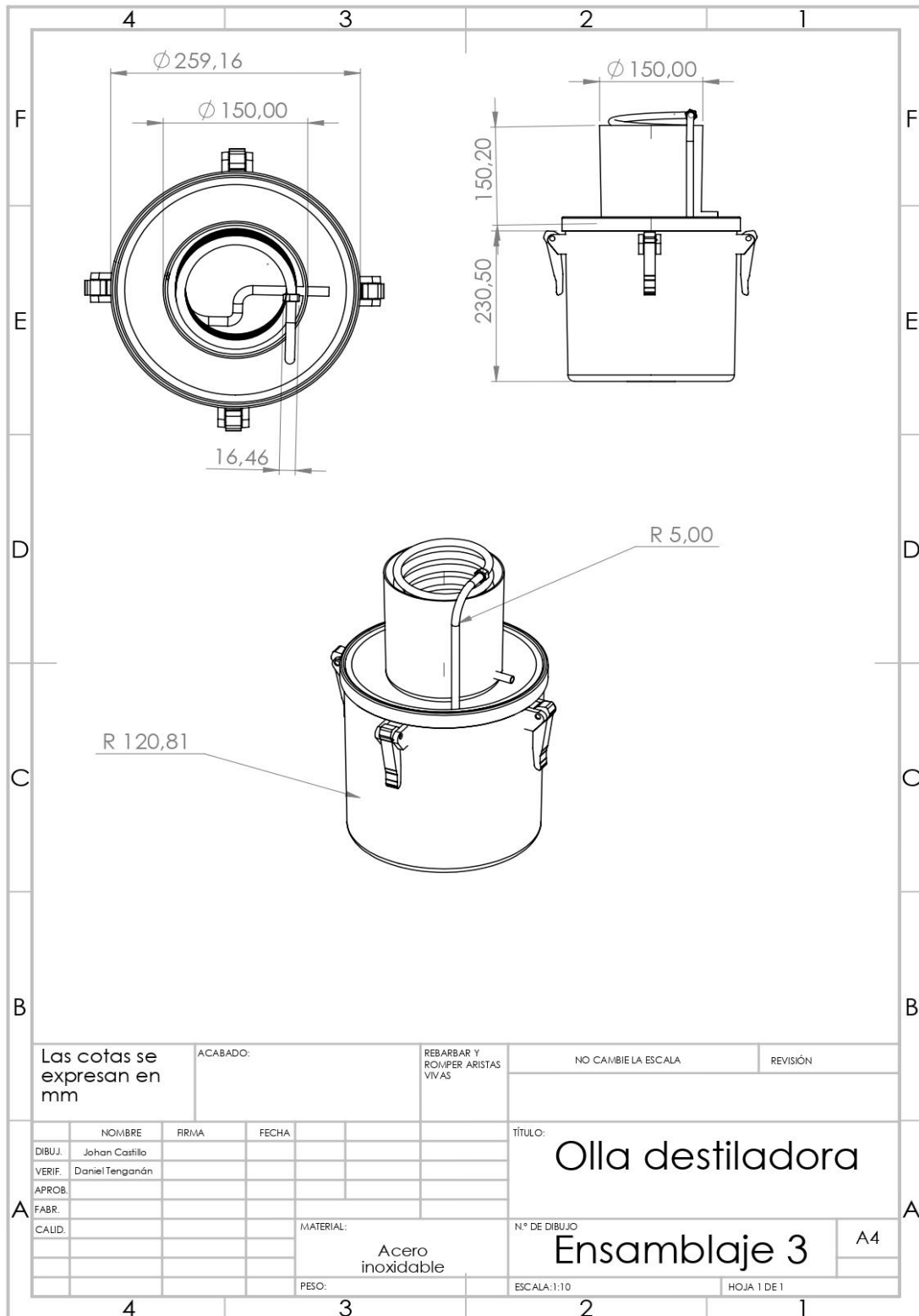
Anexo 1. Plano completo de destiladora completa



Anexo 2. Plano estufa



Anexo 3. Plano olla destiladora



Las cotas se expresan en mm

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Johan Castillo		
VERIF.	Daniel Tenganán		
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:
Olla destiladora

N.º DE DIBUJO
Ensamblaje 3

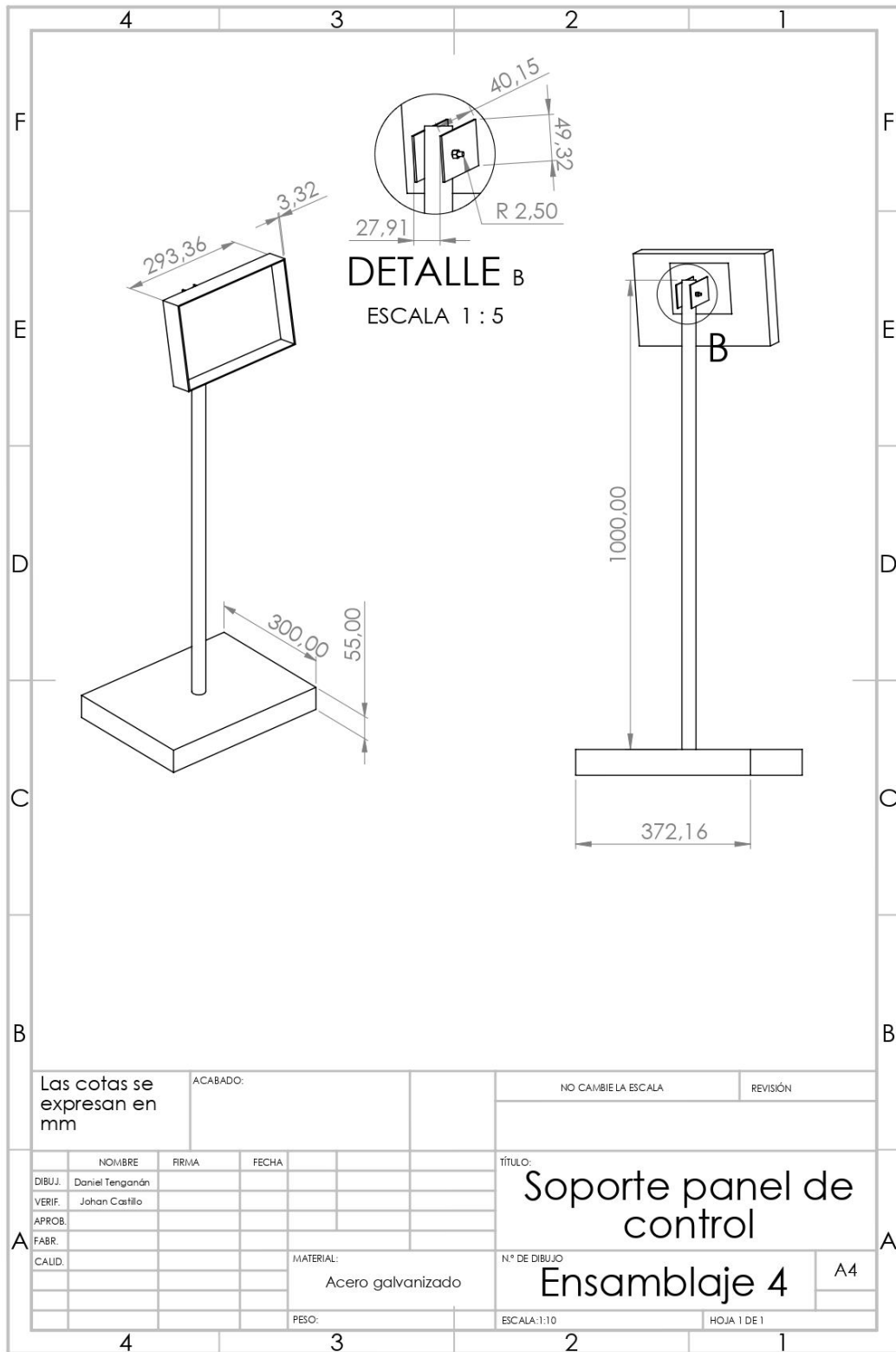
A4

MATERIAL:
Acero inoxidable

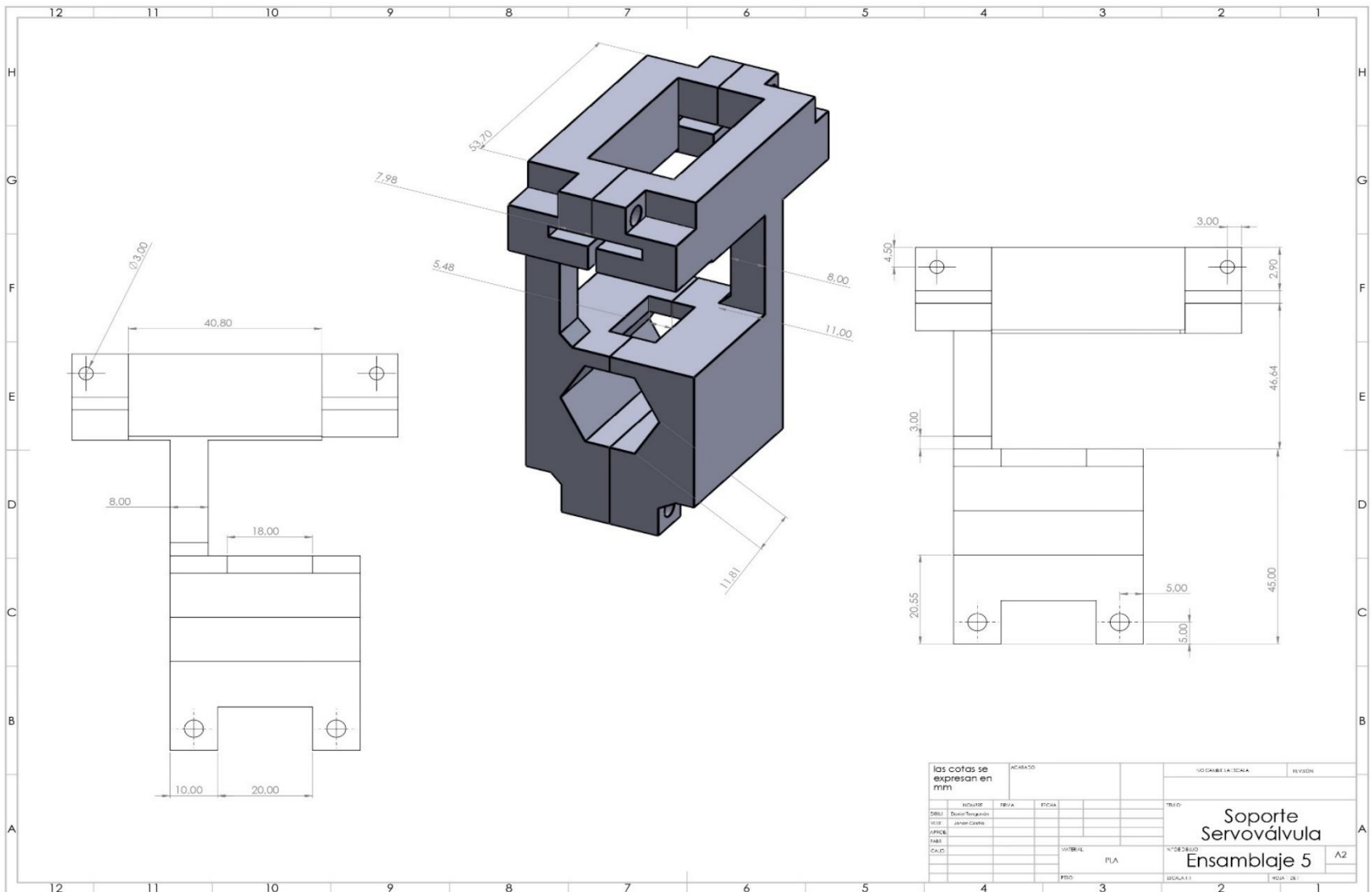
ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 1

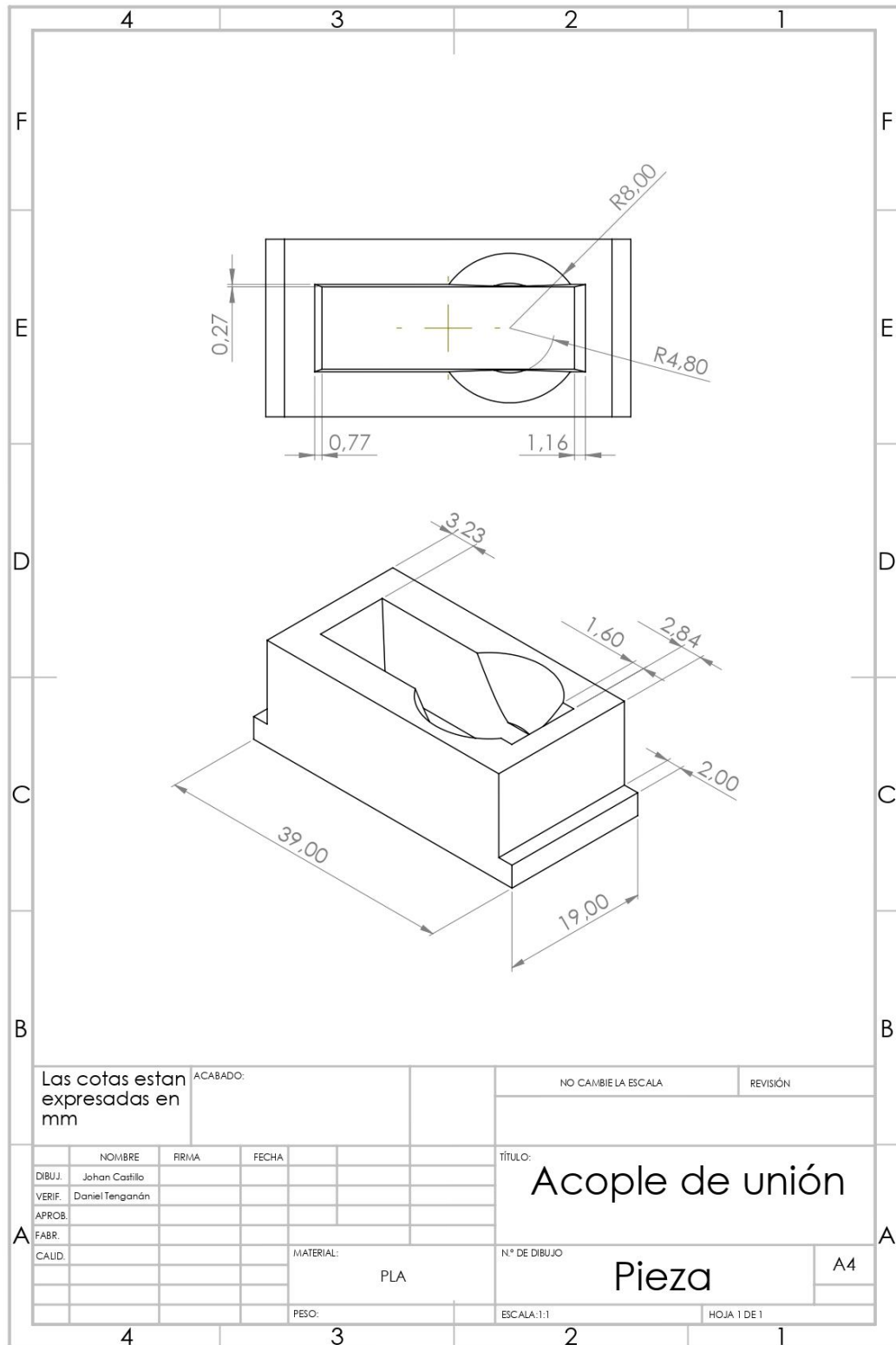
Anexo 4. Plano soporte de panel de control



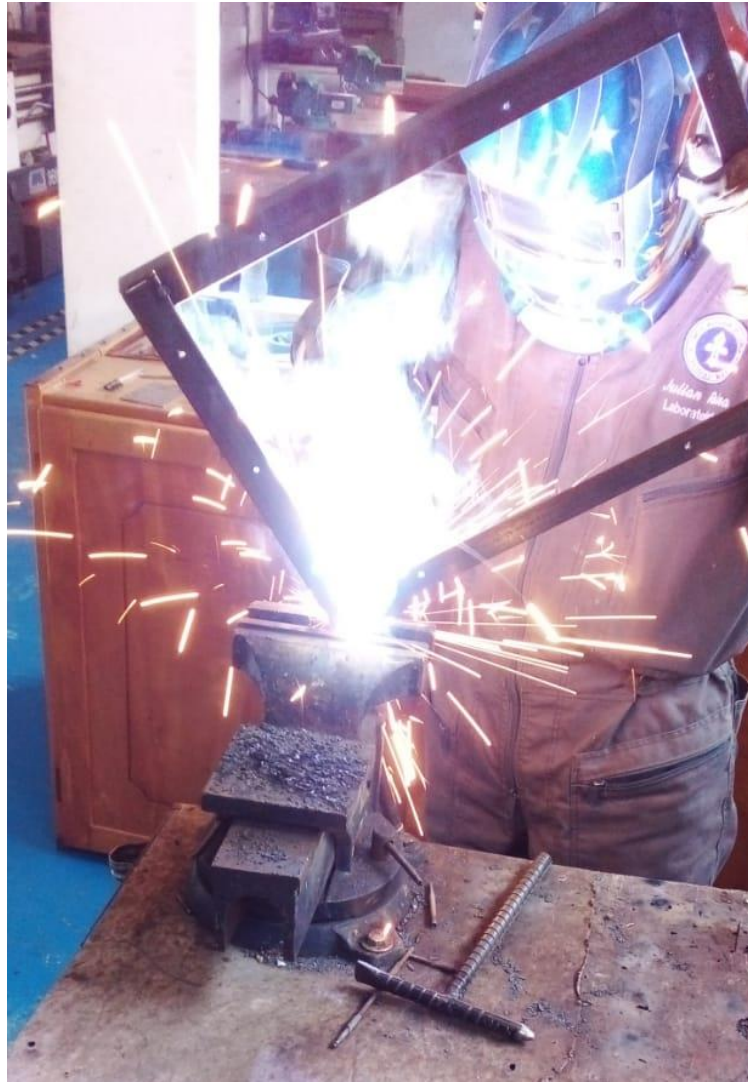
Anexo 5. Soporte servomotor y válvula



Anexo 6. Acople de unión eje servomotor y palanca de apertura y cierre



Anexo 7. Proceso soldadura soporte



Anexo 8. Doblado de lámina como superficie para la parte superior



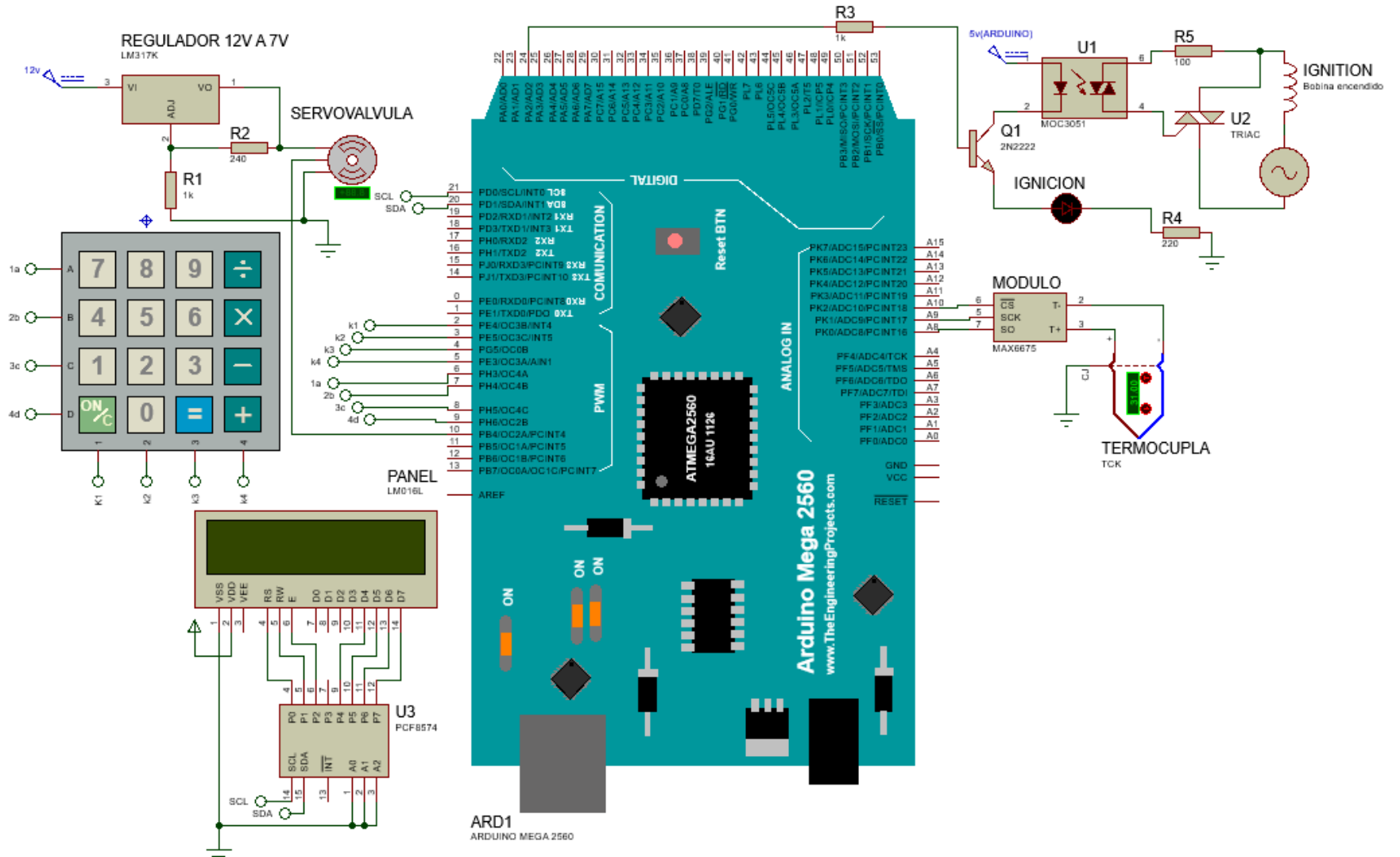
Anexo 9. Proceso de ajustes previos antes de unir con remaches la superficie a estructura



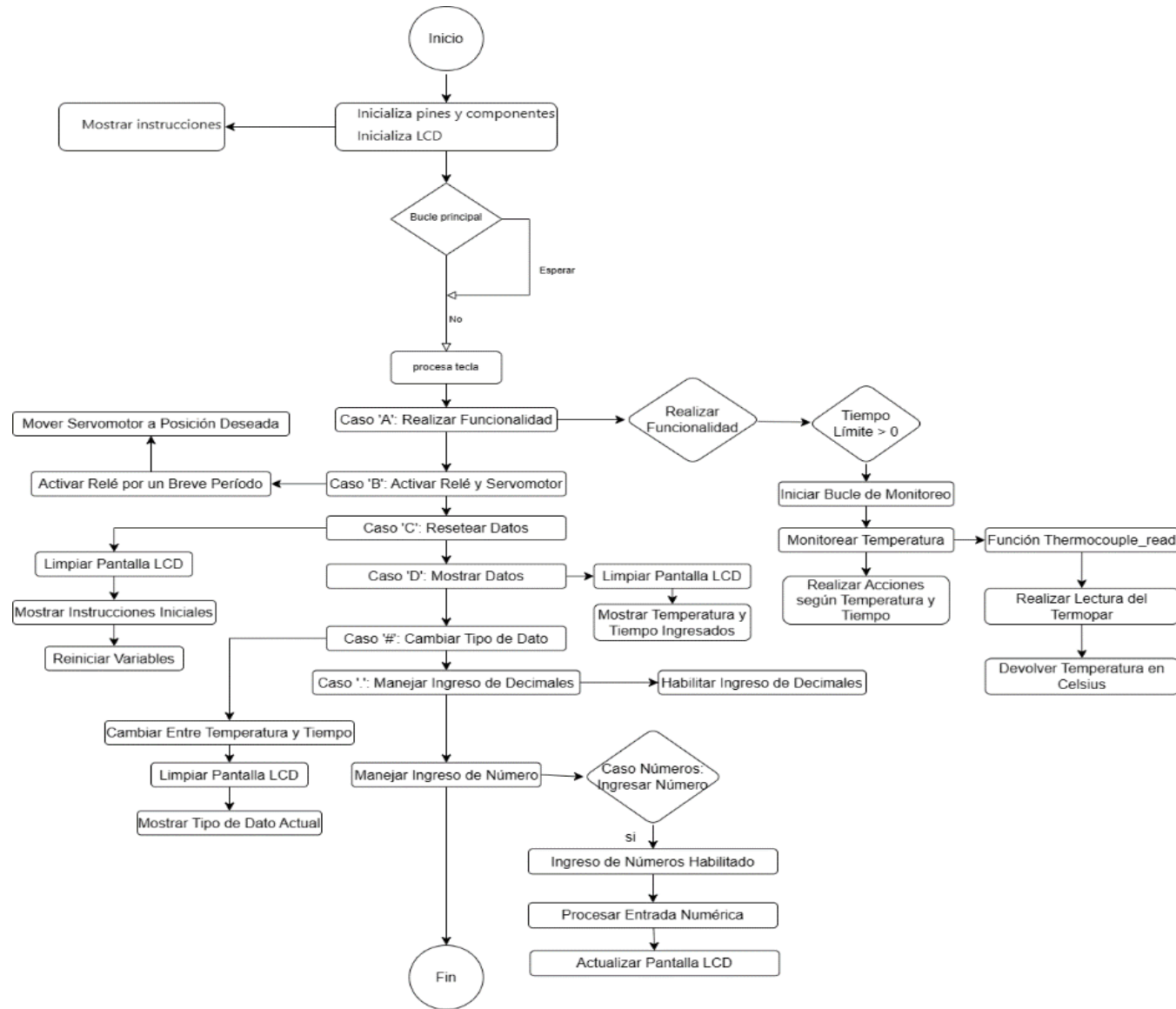
Anexo 10. Destiladora de 2 ollas



Anexo 11. Plano eléctrico de panel completo



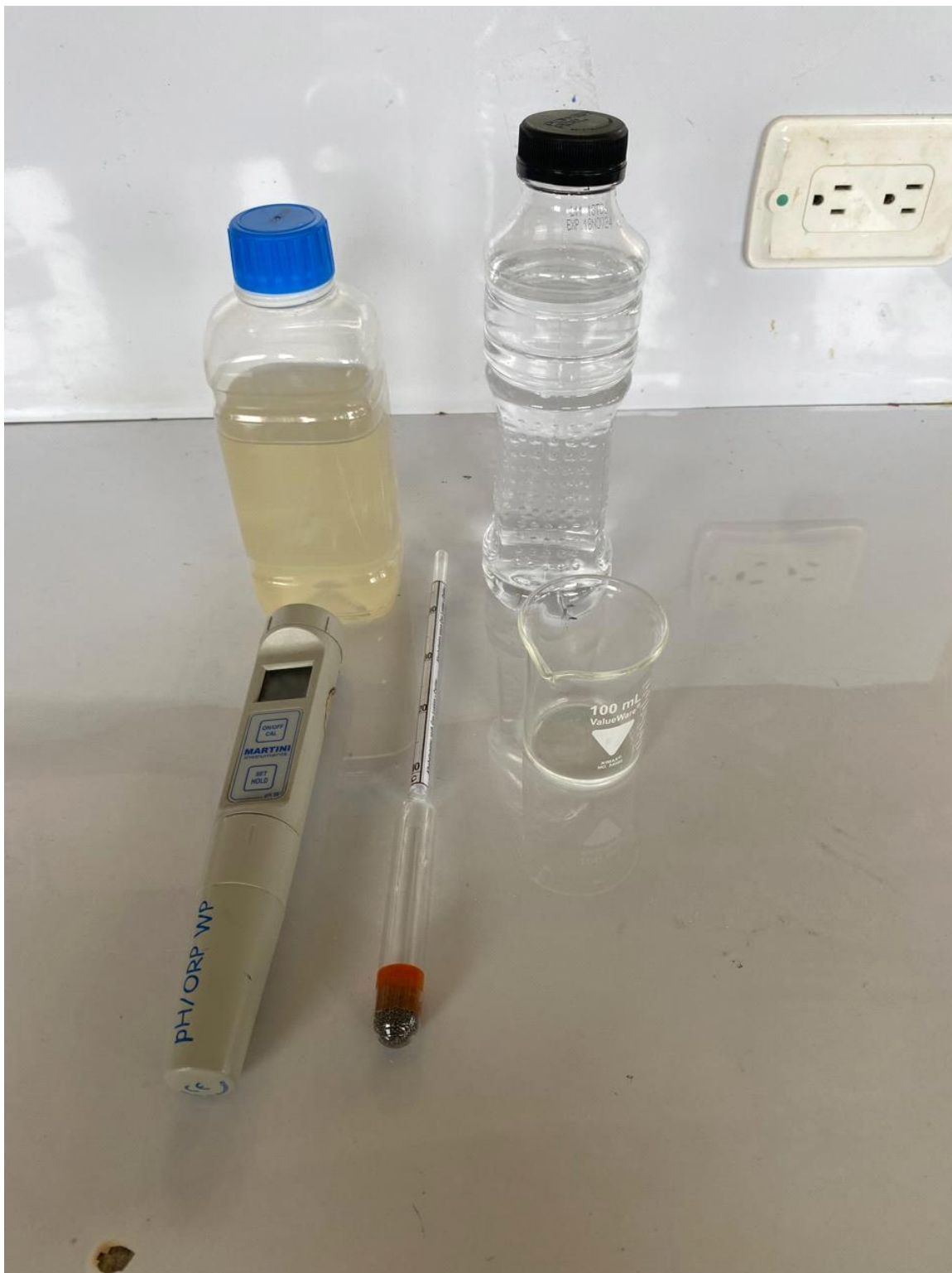
Anexo 12. Diagrama de flujo



Anexo 13. Primeras pruebas de funcionamiento e integración



Anexo 14. producto 1 y producto 2 y componentes usados para las medidas



Anexo 15. Medidas del producto 1



Anexo 16. Medidas del producto 2



Anexo 17. Listado de materiales

Lista de materiales
Lamina de acero galvanizada calibre 20
Tubo de acero de 1"1/2
Varilla cuadrada
Válvula de gas de ¼
PLA de 1.75 mm
Arduino Mega
Servomotor cap. 9kg
Teclado matricial 4x4
LCD 16x2
Cable de audio 18mm
Termocupla tipo K de 30cm
Modulo 6675
Transistor 2n222
Encendedor de llama eléctrico
Relé
Quemador de gas
Manguera para gas

Anexo 18. Diseño electrónico del sistema

