

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema:

DESTILADORA AUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE ALCOHOL DE CAÑA

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

ÁREA: Automatización

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y Sistemas de control

AUTOR: Kevin Damián Carrillo Naranjo

TUTOR: Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño MSc.

Ambato - Ecuador

agosto – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: DESTILADORA AUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE ALCOHOL DE CAÑA, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Kevin Damián Carrillo Naranjo, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, agosto 2024

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN WILFRIDO SALAZAR LOGRONO

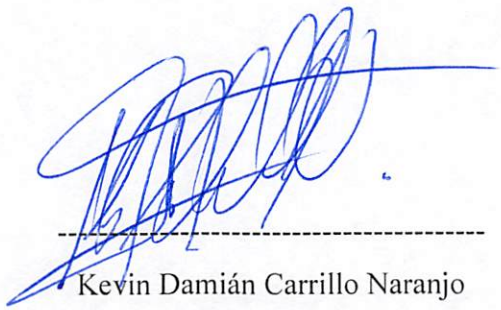
Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño MSc.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: DESTILADORA AUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE ALCOHOL DE CAÑA es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2024



Kevin Damián Carrillo Naranjo

C.C.1804770947

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto 2024

Kevin Damián Carrillo Naranjo

C.C. 1804770947

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Kevin Damián Carrillo Naranjo, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado DESTILADORA AUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE ALCOHOL DE CAÑA nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2024

Firmado electrónicamente por:
ELSA PILAR URRUTIA URRUTIA

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
JESUS ISRAEL GUAMAN MOLINA

Ing. Jesús Guamán Molina, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Firmado electrónicamente por:
MAURICIO XAVIER LOPEZ FLORES

Ing. Mauricio López Flores, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a todas aquellas personas que han sido un apoyo y motivación en todo este largo camino de aprendizaje y retos, dedicar a mis padres por darme la vida y el amor necesario para continuar con mis objetivos, principalmente a mi madre Maribel Naranjo por ser un apoyo incondicional y pilar fundamental en mi vida y en esta etapa.

Dedicar esta tesis seria poco a lado de todo lo bueno que pude aprender de mi abuelita Rosa América Eulalia Pérez Soria, por ser también un pilar fundamental en mi vida, por siempre apoyarme y darme ánimos de seguir adelante y saber que nunca dejo de confiar en mí.

A mi hermana Anahí por estar siempre presente en los buenos y más aún en los malos momentos, con sus palabras de apoyo y sus ocurrencias de alegría.

A mis amigos que han hecho de esta una de las experiencias más bonitas Ismael, Washington y Anthony, que a pesar de todo siempre fuimos compañeros de clase, un equipo y unos grandes amigos en esta etapa universitaria.

A todos ustedes, como familia Carrillo y familia Naranjo por estar siempre presentas con una palabra de apoyo o con un buen consejo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por darme vida y fuerzas para poder cumplir con este de muchos objetivos de vida y poder seguir adelante, superando cada obstáculo que la vida me ha puesto en frente.

Agradecer a mis padres Joffre Carrillo por ser un gran hombre en mi vida e Inés Maribel por apoyarme en ciertos aspectos de mi vida estudiantil, y apoyarme incondicionalmente.

A mi abuelita Rosa Pérez por siempre confiar en mí y nunca dudar en que podría alcanzar esta meta de vida, y por todo su apoyo incondicional y su amor.

A mi hermana Anahí por siempre estar presente en todos los buenos y malos momentos.

A mi gran mentor el ingeniero Franklin Salazar por sus grandes enseñanzas y por compartir todos sus conocimientos de una manera eficaz y su gran apoyo para la elaboración de esta tesis de grado y creer en mi potencial y sabiduría para poder lograrlo.

A mi tío Jairo Gelmer Omar Carrillo por también ser mentor en la elaboración de esta tesis, con su conocimiento en el arte de destilación y por su manera de enseñar en el campo de elaboración en el proceso de destilación que fue fundamental para la elaboración de esta tesis.

A todos ustedes muchas gracias por su apoyo incondicional y por siempre confiar en mí.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA ..... **i**

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xiii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xv**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xviii**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xix**

ABSTRACT ..... **xx**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 2

1.3 Fundamentación teórica 3

1.3.1 Automatización 4

1.3.2 Sistemas de control automático 4

1.3.3 Tipos de sistema de control 4

1.3.4 Controlador Lógico Programable (PLC) 6

1.3.5 Instrumentación 8

1.3.6 Medición de Nivel 8

1.3.7 Medición de temperatura 9

1.3.8 Interfaz Hombre – Máquina 12

1.3.9 Acero Inoxidable 12

1.3.10 Cobre 13

1.3.11 Destilación 14

1.3.12 Tipos de Destilación 15

1.3.13 Bebidas Destiladas 18

1.3.14 Licor destilado de caña 19

1.4 Objetivos 20

1.4.1 Objetivo General 20

1.4.2 Objetivos Generales 20

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 22

2.1 Materiales 22

2.2 Métodos 23

2.2.1 Modalidad de la investigación 23

2.2.2 Recolección de información 26

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos 26

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28

3.1 Diseño de la destiladora 28

3.1.1 Selección del acero inoxidable 28

3.1.2 Diseño del tanque de ebullición 30

3.1.3 Torre de destilación 34

3.1.4 Intercambiador de calor 35

3.2 Sistema de refrigeración 39

3.3 Sistema de redistribución de agua 41

3.4 Caldera 43

3.4.1 Implementación de tanque de gas 45

3.4.2 Mangueras de conexión entre artefactos y cilindros 46

3.4.3 Válvulas de presión de gas 47

3.5 Sistema Eléctrico 47

3.6 Fases del procedimiento de destilación. 52

3.7 Selección de equipos. 53

3.7.1 Selección de controlador para automatización. 53

3.7.2 Tableros Eléctricos 54

3.8 Diseño de la estructura 55

3.9 Diagrama eléctrico 56

3.9.1 Diagrama de control eléctrico de entradas. 56

3.9.2 Diagrama de control eléctrico de salidas 57

3.10 Programación de la máquina 57

3.10.1 TIA PORTAL 58

3.10.2 Líneas de programación 60

3.11 Pantalla HMI 63

3.11.1 Consideraciones para elaborar el diseño de la pantalla HMI 64

3.11.2 Pantalla Principal HMI 65

3.11.3 Pantalla Secundaria HMI 65

3.12 Análisis de temperatura y producto 66

3.12.1 Primera Destilación 67

3.12.1 Segunda Destilación 71

3.12.2 Análisis comparativo del producto obtenido 74

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 77

4.1 Conclusiones 77

4.2 Recomendaciones 78

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

ANEXO A 82

ANEXO B..... 85

ANEXO C ..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 1. ..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 2 ..... ¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las termocuplas 11

Tabla 2. Clasificación de los estados de destilación 18

Tabla 3. Tipos de bebidas fermentadas 18

Tabla 4. Tipos de bebidas destiladas 19

Tabla 5. Materiales utilizados 22

Tabla 6. Softwares utilizados. 23

Tabla 7. Tipos de acero según la AISI 30

Tabla 8. Especificaciones del tanque 31

Tabla 9. Especificaciones de torre de destilación 35

Tabla 10. Especificaciones de serpentín. 36

Tabla 11. Especificaciones del tanque refrigerante 38

Tabla 12. Pasos para la selección de equipo de refrigeración 39

Tabla 13. Especificaciones de la unidad condensadora 40

Tabla Tabla 14. Especificaciones de bomba de agua 41

Tabla 15. Características de la tubería PVC 42

Tabla 16. Aspectos de comparación 43

Tabla 17. Elementos de la caldera 45

Tabla 18. Controles eléctricos 49

Tabla 19. Características sensor de nivel 50

Tabla 20. Fases de destilación 52

Tabla 21. Selección de controlador 53

Tabla 22. Selección de PLC 54

Tabla 23. Partes de la destiladora 56

Tabla 24. Selección de lenguaje de programación 58

Tabla 25. Variables de entrada 59

Tabla 26. Variables de salida 59

Tabla 27. Variables tipo marca 59

Tabla 28. Colores permitidos en HMI en la norma IEC 60073 64

Tabla 29. Temperaturas obtenidas en el tanque de condensación 68

Tabla 30. Tiempos de destilación 68

Tabla 31. Grados alcohólicos de la primera destilación 69

Tabla 32. Temperaturas obtenidas, segunda destilación 71

Tabla 33. Tiempos segunda destilación 72

Tabla 34. Grados alcohólicos segunda destilación 73

Tabla 35. Tabla comparativa de los productos obtenidos 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Diagrama de bloques, lazo abierto 5

Figura 2. Diagrama de bloques, lazo cerrado 6

Figura 3. Partes de un PLC 7

Figura 4. Medidor tipo sonda 9

Figura 5. Medidor manométrico 9

Figura 6. Rangos de temperatura 10

Figura 7. Termocupla o termopar 10

Figura 8. HMI 12

Figura 9. Acero inoxidable 13

Figura 10. Cobre 14

Figura 11. Destilación simple 16

Figura 12. Destilación fraccionada 16

Figura 13. Esquema general del proceso de automatización y control de destiladora. 28

Figura 14. Tanque de ebullición 31

Figura 15. Diagrama de construcción del tanque de ebullición 32

Figura 16. Triangulo rectángulo para hallar la hipotenusa “g” 32

Figura 17. Plato de fraccionamiento tipo perforado 34

Figura 18. Plato de fraccionamiento tipo estrella 34

Figura 19. Primer condensador de cobre..... 35

Figura 20. Tubería de cobre ¾ 36

Figura 21. Serpentín de cobre 37

Figura 22. Tanque refrigerante..... 38

Figura 23. Tubería de cobre 5/8 40

Figura 24. Unidad condensadora..... 40

Figura 25. Especificaciones bomba LEO..... 41

Figura 26. Tubería y componentes de PVC 42

Figura 27. Contenedor de generación de flama. 44

Figura 28. Quemador tipo H 45

Figura 29. Manguera de gas desde el cilindro al objeto..... 46

Figura 30. Manguera para uso exclusivo de paso de gas 46

Figura 31. Válvula de presión de gas. 47

Figura 32. Disyuntor 48

Figura 33. Relé 24Vdc 49

Figura 34. Controladores eléctricos. 50

Figura 35. Sensor de nivel..... 51

Figura 36. PLC S7 - 1200 54

Figura 37. Tablero eléctrico de plástico..... 55

Figura 38. Máquina destiladora..... 55

Figura 39. Conexión y entradas del PLC. 56

Figura 40. Circuito de salida 57

Figura 41. Línea de programación inicio y parada del sistema..... 60

Figura 42. Línea de programación de activación de sensor de nivel 61

Figura 43. Línea e programación del motor de refrigeración 61

Figura 44. Línea de activación de la marca de activación del sensor 62

Figura 45. Línea de programación de activación y desactivación de motor mediante HMI 62

Figura 46. Línea de programación de la bomba de agua. 63

Figura 47. Comunicación PLC – HMI virtual 64

Figura 48. Pantalla principal HMI 65

Figura 49. Pantalla secundaria HMI..... 66

Figura 50. Temperatura de condensador, inicio de sistema. 66

Figura 51. Alcohómetro Gay Luusac 67

Figura 52. Alcohol obtenido del primer destilado 69

Figura 53. Medición de cabeza primera destilación..... 70

Figura 54. Medición de corazón primera destilación..... 70

Figura 55. Medición colas primera destilación 71

Figura 56. Alcohol obtenido segundo destilado..... 72

Figura 57. Medición de colas segunda destilación..... 73

Figura 58. Medición de porcentaje obtenido, segunda destilación 73

Figura 59. Medición de ultimas gotas, segunda destilación 74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datasheet PLC 82

Anexo 2. Ficha técnica motor de refrigeración 83

Anexo 3. Ficha técnica bomba de agua 83

Anexo 4. Datasheet HMI 84

Anexo 5. Elaboración de serpentín de cobre 85

Anexo 6. Elaboración de tanque de ebullición y columna de destilación. 85

Anexo 7. Elaboración de primer condensador 86

Anexo 8. Módulo de encendido eléctrico de cocina. 86

RESUMEN EJECUTIVO

El avance tecnológico en sectores industriales ha impulsado la necesidad de nuevos enfoques analíticos que beneficien a la sociedad, especialmente en la pequeña y mediana industria, al acelerar la producción y generar más oportunidades. La manufactura automatizada, resultado de la interacción entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la mecanización y sistemas de alimentación, ha transformado las cadenas de producción globales. Sin embargo, en el ámbito de las destiladoras industriales, las pequeñas empresas y artesanos se ven excluidos debido a los altos costos de equipos, dominados por multinacionales.

En Ecuador, a pesar de la existencia de empresas productoras de alcohol etílico, su presencia global es limitada comparada con países como Brasil, Colombia y Perú. En el cantón Pangua (Cotopaxi), pequeños emprendedores enfrentan la falta de equipamiento adecuado y recursos, limitando la producción de destilados y dificultando la exportación. La creciente relevancia de la producción de alcohol etílico a partir de plantas autóctonas, como la caña de azúcar, enfrenta desafíos debido a diseños de destiladores de baja capacidad, afectando la productividad y calidad del licor artesanal.

El proyecto busca diseñar una destiladora automatizada enfocada en apoyar a emprendedores, mejorando la capacidad y eficiencia del proceso de destilación. Este diseño se desarrollará en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, aprovechando estaciones de trabajo que fomentarán la innovación en automatización de procesos. Se espera que este proyecto impulse la matriz productiva regional, ofreciendo a microempresas una solución para competir y expandirse en el mercado global.

Palabras clave: Destilación, automatización, alcohol, fermentación, calidad, control.

ABSTRACT

Technological progress in industrial sectors has driven the need for new analytical approaches that benefit society, especially in small and medium industry, by accelerating production and generating more opportunities. Automated manufacturing, resulting from the interaction between economic forces and technical innovations such as mechanization and food systems, has transformed global production chains. However, in the field of industrial distillers, small enterprises and artisans are excluded due to high equipment costs, dominated by multinationals.

In Ecuador, despite the existence of ethyl alcohol producing companies, their global presence is limited compared to countries such as Brazil, Colombia and Peru. In the Pangua canton (Cotopaxi), small entrepreneurs face a lack of adequate equipment and resources, limiting the production of distillates and hindering exports. The growing importance of ethyl alcohol production from native plants, such as sugarcane, faces challenges due to low-capacity distiller designs, affecting the productivity and quality of the artisanal liquor.

The project seeks to design an automated distiller focused on supporting entrepreneurs, improving the capacity and efficiency of the distillation process. This design will be developed at the School of Systems, Electronics and Industrial Engineering of the Technical University of Ambato, taking advantage of workstations that will promote innovation in process automation. This project is expected to boost the regional productive matrix, offering micro-enterprises a solution to compete and expand in the global market.

Keywords: Distillation, automation, alcohol, fermentation, quality, control.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

Destiladora Automatizada para el Proceso de Alcohol de Caña

1.1.1 Planteamiento del problema

El avance tecnológico en distintos sectores industriales ha generado la necesidad de fomentar la creación de nuevos enfoques de análisis en diversas disciplinas. Estos métodos buscan brindar beneficios a la sociedad ya que agilizan la producción en ámbito laboral y por ende, se generan mayores oportunidades en la pequeña y mediana industria. La manufactura automatizada ha surgido de la estrecha interacción entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas, como la división del trabajo, la transferencia de energía, la mecanización de las fábricas y el desarrollo de máquinas de transferencia y sistemas de alimentación [1].

A nivel mundial, las cadenas de producción de destiladoras industriales tienden a centrarse en las empresas multinacionales, relegando a un segundo plano a los pequeños microempresarios o artesanos debido a que no representan un margen de ganancia significativo. En consecuencia, estas cadenas optan por ofrecer destiladoras a precios elevados, excluyendo a los mencionados empresarios y artesanos [2].

En el año 2006, la producción mundial de etanol alcanzó los 40 millones de toneladas, siendo Brasil y Estados Unidos responsables del 70% de esta cifra. Brasil empleó caña de azúcar como principal materia prima, mientras que Estados Unidos optó por cereales, especialmente maíz [2].

En Ecuador, existen empresas dedicadas a la fabricación de alcohol etílico, pero su presencia a nivel global es limitada en comparación con otros países de la región como Brasil, Colombia o Perú los cuales producen en mayor escala productos destilados. Sin embargo, en el cantón Pangua (Cotopaxi) un subtrópico del Ecuador, existen pequeños emprendedores en la matriz productiva en este tipo de microempresas, no obstante, la falta de equipamiento adecuado para la producción, y la nula disponibilidad de

recursos ha limitado la producción de destilados en dicha región. Así también, el proceso de exportación también presenta desafíos, lo que disminuye la creación de nuevas microempresas, y por ende la producción artesanal, que son fundamentalmente para el establecimiento de pequeñas fábricas en este sector [3].

En la actualidad, la fabricación de alcohol etílico a partir de plantas autóctonas del lugar de residencia está ganando relevancia, un claro ejemplo es el uso de la agave americana donde los productores almacenan la materia prima para la fermentación y posterior destilación. Sin embargo, enfrentan limitaciones en términos de productividad debido al diseño de sus destiladores, ya que la capacidad de producción es baja y por ello no se contribuye de manera significativa en contraste con las grandes industrias. Por esta razón, los fabricantes de alcohol etílico muestran ingenio al diseñar destiladoras adaptadas para diferentes plantas o frutas naturales. Basándonos en lo mencionado previamente, en el ámbito nacional, hay microempresas que combinan procesos de destilación tanto artesanales como automatizados, lo cual resulta en una disminución de la calidad del licor producido. De acuerdo con investigaciones llevadas a cabo hasta el año 2022, se identificó que al menos un 43% de las empresas aún requieren incorporar automatización en sus procesos de destilación

Por esta razón, el propósito del presente proyecto se centra en diseñar una destiladora la cual se enfoque principalmente en apoyar a emprendedores que buscan expandirse y generar empleo, mediante un diseño que ofrezca buena capacidad y automatización, lo cual impulsará la matriz productiva en la región [4].

El presente proyecto será desarrollado dentro de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, donde se encuentran diversas estaciones que a futuro contribuirán en la innovación de nuevos sistemas de automatización de los estudiantes de la facultad permitiendo verificar principalmente las etapas del proceso de destilación.

1.2 Antecedentes investigativos

Los PLC´s fueron creados e introducidos en la industria a finales de los años 60 con la finalidad de controlar procesos en donde los tiempos y movimientos se optimicen, y

además sea posible eliminar el gran costo que representa reemplazar los sistemas de control basados en lógica de relés. Ya que en dicha época la implementación de los controladores lógicos programables requería personal altamente calificado en el mantenimiento de equipos, y, por lo tanto, representaba una gran inversión para la empresa que utilizaba estos controladores.

Hinojosa, destaca que, la automatización no se limita solo al uso de maquinaria que sustituya al ser humano, si no que más bien se enfoca en la capacidad de control que debe tener el ser humano sobre estas máquinas, así como la importancia de una supervisión afectiva a través de dispositivos inteligentes programados por el mismo ser humano [5].

En el proyecto liderado por Maila, que se enfocó en el diseño e implementación de un sistema de control automático para la destiladora de reactor de vidrio en la planta piloto del departamento de ciencias de alimentos y biotecnología de la facultad de ingeniería química, se concluye que en un proceso de destilación existen múltiples variables cruciales que deben ser consideradas para lograr una destilación óptima. Estas variables incluyen, entre otras, la temperatura, presión, composición, y volatilidad. Basándose en estas variables como referencia, se puede establecer un enfoque de control automatizado para optimizar el proceso de destilación [6].

1.3 Fundamentación teórica

En la actualidad, en la industria química, la destilación emerge como el método de separación más predominante, superado en aplicaciones a otros procesos como la extracción, cristalización y absorción. Indudablemente, la destilación desempeña un papel fundamental en la recuperación y purificación de productos químicos [1].

Una columna de destilación es basada en uno de los procedimientos químicos más simples utilizados en la industria de manufactura, cuya finalidad es separar una composición donde intervienen dos o más sustancias basándose en sus puntos de ebullición o por otro lado basándose en su volatilidad, abarcando este proceso varios campos de aplicación, entre las más comunes y utilizados este proceso se encuentra en la elaboración de licor.

Este proyecto, se llevará a cabo la creación e instalación de un sistema de control automático para una destiladora en el taller Tecnológico de la Facultad de Ingeniería en Sistema, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

1.3.1 Automatización

La evolución tecnológica en el control de los procesos industriales se apoya en la automatización, siendo esta la plataforma fundamental. La operación automática de estos procesos resulta en la producción de productos de mayor calidad en contraste con aquellos obtenidos mediante métodos manuales. Un sistema de control está compuesto por diversos elementos que posibilitan que dicho sistema responda ante variaciones en el entorno [2].

1.3.2 Sistemas de control automático

Los sistemas de control automático consisten en varios dispositivos interconectados que tienen la capacidad de regular su propio funcionamiento sin necesidad de intervención humana. Estos sistemas también deben de ser capaces de corregir cualquier error que pueda presentarse mientras controlan una planta o proceso industrial. Algunas de las variables físicas que típicamente se controlan en procesos industriales automatizados son temperatura, velocidad, nivel, presión, flujo, etc. En resumen, los sistemas de control automático monitorizan y regulan variables críticas en ambientes industriales, con la habilidad de ajustarse ellos mismos sin ayuda y de corregir problemas que surjan durante la operación [3].

1.3.3 Tipos de sistema de control

Los sistemas de control más frecuentes son aquellos que se clasifican como sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado, los cuales detallaremos a continuación.

- ***Sistema de control lazo abierto***

Un sistema de control de lazo abierto se caracteriza porque la señal de control o acción de control es independiente de la señal de salida. Es decir, la señal de salida no tiene ningún efecto de retroalimentación sobre la señal de entrada. En otros términos, en un

sistema de lazo abierto, la señal de entrada no depende ni se ve afectada por la señal de salida. Como se ilustra en la Figura 1, en el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto, la señal de salida resultante del proceso controlado no se produce retroalimentación para modificar la acción de control. Ésta sigue actuando de manera open-loop, sin considerar la salida en sus ajustes.



Figura 1.Diagrama de bloques, lazo abierto

Así pues, un sistema de control de lazo abierto consta de un controlador y el proceso o planta que se va a controlar. Se introduce una señal de entrada o referencia que es aplicada al controlador. La señal de salida del controlador funciona como una señal de control que regula la planta o proceso de esta forma, la variable de salida de la planta actúa según las especificaciones establecidas en la señal de entrada al controlador.

En resumen, en un sistema de lazo abierto, la señal de referencia entra al controlador para producir una acción de control que gobierna el proceso, de modo que su salida cumpla con ciertas condiciones previamente fijadas, sin que esta salida tenga ningún efecto sobre la señal de entrada o de control.

- ***Sistema de control de lazo cerrado***

Los sistemas de control en lazo cerrado se caracterizan por tener una acción de control que se basa en la salida del sistema. La señal de salida se trata y retroalimenta como una entrada adicional al sistema de control, lo que facilita la evaluación de si la acción ordenada al actuador se ha ejecutado correctamente en el proceso. En un sistema de control de lazo cerrado, el error se define como la diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida. Esta señal de error es la que actúa sobre el sistema para llevar o ajustar el valor de la salida a un punto deseado [4].

Dicho de otro modo, la realimentación en un sistema de lazo cerrado permite restar la salida real del valor de salida que se quiere obtener. Esta resta resulta en una señal de error que entra nuevamente al sistema para reducir la diferencia entre la salida actual y la salida que se desea [4].

Como se ilustra en la Figura 2, el diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado muestra cómo la señal de salida se realimenta para calcular la señal de error, la cual modifica la acción de control y hace que la salida converja al valor de entrada deseado.



Figura 2. Diagrama de bloques, lazo cerrado

1.3.4 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo electrónico con memoria programable donde se guardan las instrucciones que definen su operación. Los PLC permiten implementar funciones lógicas, secuencias de control, temporizadores, contadores y operaciones aritméticas. De esta manera, un PLC puede ejecutar un programa de control automatizaos para regular máquinas y procesos en aplicaciones industriales [5].

- ***Partes de un PLC***

Un PLC posee varios componentes esenciales, como se observa en la Figura 3 se encuentra la unidad central de procesamiento (CPU), la cual interpreta el programa de usuario y ejecuta las instrucciones de control. Adicionalmente tiene la memoria, que almacena tanto el programa de aplicación como los datos necesarios para la operación del controlador para comunicarse con otros dispositivos, un PLC dispone de varias interfaces de entrada/salida. Las interfaces de entrada reciben y procesan las señales del campo provenientes de los sensores que miden el proceso, mientras que las salidas envían las señales de mando a los actuadores luego de la lógica de control. Finalmente, un PLC cuenta con una unidad de programación la cual permite que el usuario introduzca y modifique la lógica de control que rige al proceso automatizado. De esta manera, la combinación de estas partes clave conforman la plataforma de hardware y software sobre la cual se ejecuta el programa de control en un PLC [6].

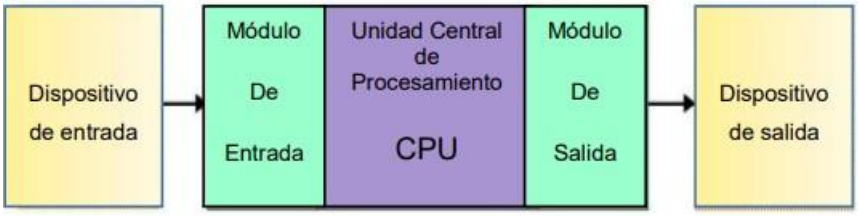


Figura 3. Partes de un PLC

Unidad Central de Procesamiento (CPU): Constituye la parte esencial de un PLC, ya que en esta instancia se lleva a cabo la toma de decisiones relacionadas con el control del proceso. La CPU recibe las señales de entrada provenientes de diversos dispositivos de detección, ejecuta el algoritmo de control para los dispositivos de salida de acuerdo con la lógica programada [6].

Módulo de Entradas: Estos dispositivos posibilitan la entrada de señales al PLC, tales como interruptores, finales de carrera, pulsadores, sensores inductivos y capacitivos, entre otros. A intervalos regulares, se efectúa un escaneo del estado de las entradas, y esta información se transfiere a una sección de memoria PLC conocida como imagen de entrada [6].

Módulo de Salida: Estos dispositivos se encargan de activar o desactivar los actuadores presentes en el proceso, como bobinas de contactores, lámparas, motores pequeños, entre otros. La información proveniente de las entradas es procesada por la CPU y se envía a una zona de memoria denominada imagen de salida; desde allí se transmite la interfaz de salida, el comando para activar los actuadores conectados [6].

Fuente de Alimentación: Realiza conversión del voltaje de corriente, alterna de la red (110 – 220 VAC) a un voltaje de corriente continua de 24 VDC. Este voltaje se utiliza para alimentar los circuitos electrónicos que componen el PLC [6].

- ***Lenguaje de Programación***

Para llevar a cabo la programación de un PLC, se emplean diversos tipos de lenguajes de programación, pero los más utilizados son: los gráficos y los de texto. Los lenguajes gráficos incluyen SFC, FBD y LADDER, los cuales posibilitan la organización del programa mediante símbolos que son equivalentes a los utilizados en la representación

de sistemas de automatización, como planos esquemáticos y diagramas de bloques. Por otro lado, los lenguajes de texto comprenden ST e IL o STL, los cuales permiten la creación de listados de sentencias que especifican las funciones a ejecutar dentro del programa desarrollado [6].

1.3.5 Instrumentación

En el ámbito industrial, se emplean diversas metodologías para llevar a cabo la evaluación de los factores físicos presentes en un proceso industrial. El presente análisis se centra en las estrategias utilizadas para medir los niveles, la presión y la temperatura en el proceso de destilación.

1.3.6 Medición de Nivel

Determinar el nivel de líquidos es esencial en la industria para lograr un balance entre insumos y productos terminados. Existen diversos instrumentos para medir el nivel, que funcionan midiendo la altura del líquido con respecto a una referencia, la presión hidrostática, el desplazamiento de un flotador o las propiedades eléctricas del líquido. Estos instrumentos se pueden clasificar en dispositivos de lectura directa, que miden el nivel de líquido visualmente; dispositivos de lectura remota, que transmiten la medición a un indicador; y dispositivos automáticos o de control, que accionan alarmas o válvulas según el nivel detectado. Una selección adecuada del tipo de instrumento a utilizar depende de factores como las características del líquido, rangos de temperatura y presión, precisión requerida, costos y compatibilidad con sistemas de control [7].

- ***Medidor de nivel tipo sonda***

Este dispositivo de medición como se indica en la Figura 4 consta de una varilla o regla graduada de longitud apropiada para ser insertada en un recipiente. El nivel se establece al realizar una lectura directa de la longitud que se moja con el líquido en la varilla o regla [7]

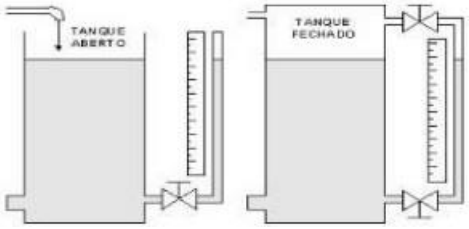


Figura 4. Medidor tipo sonda

- ***Medidor de nivel manométrico***

Este dispositivo de medición, como se observa en la Figura 5, consiste en un manómetro conectado en la parte inferior del depósito. Este manómetro evalúa la presión generada por la altura del líquido en el depósito y el eje del instrumento. Su uso se destina a fluidos limpios, ya que, si el fluido es corrosivo, coagulante o contiene sólidos en suspensión, el fuelle podría dañarse y perder su elasticidad. Además, la medición se encuentra restringida a estanques abiertos.

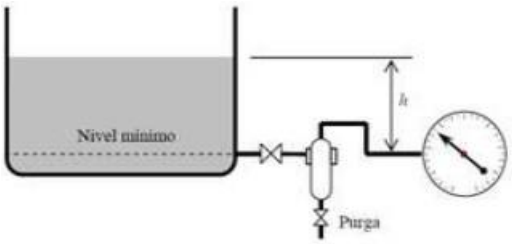


Figura 5. Medidor manométrico

1.3.7 Medición de temperatura

El monitoreo y la medición de la variable física de temperatura son fundamentales en cualquier proceso industrial. Por esta razón, se emplean dispositivos sensibles a las conmutaciones de esta variable, como termómetros, termistores, RTD, termopares, entre otros. En la Figura 6, se especifican los intervalos de temperatura que cada instrumento puede medir [8].

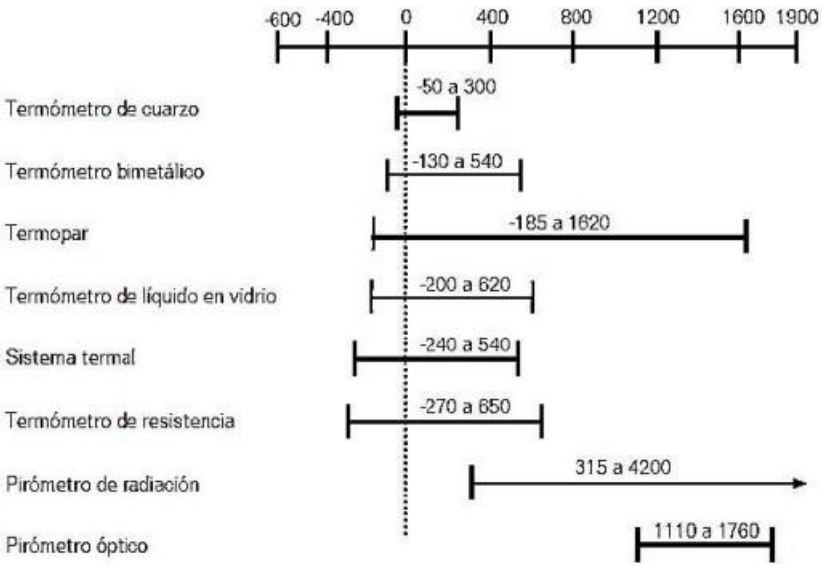


Figura 6. Rangos de temperatura

- ***Termocupla o Termopar***

Un termopar, representado en la Figura 7, es un dispositivo que genera un flujo de voltaje (mV) en respuesta a una disparidad de temperatura entre sus extremos. Este dispositivo es resistente y su capacidad de medición se determina según el material utilizado en los conductores positivo y negativo. No necesita una fuente de alimentación externa para operar, lo que lo convierte en un componente pasivo [8].

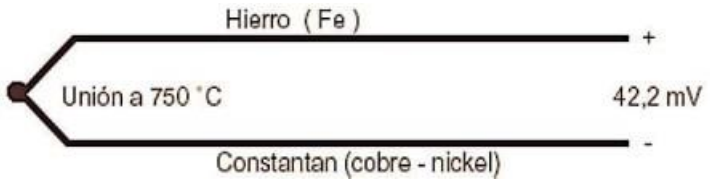


Figura 7. Termocupla o termopar

En la Tabla 1 se muestra una categorización de los termopares según el material utilizado para los conductores positivo y negativo, así como sus respectivos intervalos de medición de temperatura.

Tabla 1. Características de las termocuplas

Tipo	**Aleación**		**uV/°C**	**Rango °C**	**Uso**
	Conductor +	**Conductor -**			
J	Hierro	Constantán	50	-200 – 1200	Inertes, vacío
K	Níquel	Níquel-Aluminio	40	-200 – 1100	Oxidantes
T	Cobre	Constantán Cobre-Níquel	39	-200 – 260	Oxidantes y reductoras
E	Níquel-Cromo	Constantán cobre-Níquel	68	-200 – 1000	Inertes, vacío, oxidantes
N	Nicrosil	Nisil	26	-200 – 2300	Inertes, vacío

- ***Termoresistencia***

Se trata de un dispositivo que se distingue por su linealidad y respuesta rápida. Su operación se fundamenta en una variación en el valor de la resistencia eléctrica en relación con los cambios de temperatura a los que se expone. Esta característica está vinculada al material del cual está compuesto y se denomina "coeficiente de resistencia de temperatura"[8].

- ***Termistor***

El funcionamiento del termistor se fundamenta en la alteración de la resistencia eléctrica de un semiconductor al estar sujeto a cambios de temperatura. Los termistores presentan una respuesta no lineal ante las variaciones de temperatura y se emplean en situaciones donde se busca una mayor resolución y un tiempo de respuesta más breve [8].

- ***Pirómetros***

Los pirómetros son dispositivos que evalúan la temperatura sin requerir contacto directo con el fluido, superficie, u otro elemento. Son especialmente útiles para medir

temperaturas elevadas, ya que detectan la radiación térmica emitida por objetos o fluidos [8].

1.3.8 Interfaz Hombre – Máquina

Una interfaz de usuario se puede definir como un sistema interactivo diseñado para que un humano pueda operar y controlar una máquina. Su función es permitir el intercambio de información en ambas direcciones: del hombre a la máquina, proporcionando órdenes e instrucciones de control, y de la máquina al hombre, entregando retroalimentación y datos sobre su estado y operación. Idealmente, una buena interfaz de usuario traduce las tareas que quiere realizar el operador en comandos comprensibles por el sistema, y presenta la información del equipo de una forma clara y accesible para el usuario. De esta manera, la interfaz de usuario es el punto de conexión que posibilita que un operador humano supervise o dirija el funcionamiento de un sistema autorizado o computarizado. Un diseño óptimo de dicha interfaz es crucial para complementar las capacidades cognitivas del usuario con capacidades de procesamiento de la máquina [9].



Figura 8. HMI

1.3.9 Acero Inoxidable

El acero inoxidable es ampliamente considerado el mejor material para la construcción de alambiques debido a su excepcional resistencia a la corrosión y durabilidad. Este material es resistente a los ácidos y alcalinos presentes en los procesos de destilación, lo que garantiza una larga vida útil del equipo sin degradación significativa. Además, su superficie no reactiva asegura que no haya interacciones químicas no deseadas con

los componentes del líquido a destilar, preservando la pureza y el sabor del producto final. El acero inoxidable también es fácil de limpiar y mantener, lo cual es crucial para la producción de bebidas alcohólicas y otros productos sensibles.

Otra ventaja significativa del acero inoxidable es su capacidad para mantener la integridad estructural bajo condiciones de alta temperatura. Durante la destilación, el alambique necesita soportar fluctuaciones térmicas intensas sin deformarse ni deteriorarse, y el acero inoxidable cumple con este requisito de manera excelente. Asimismo, este material es relativamente ligero en comparación con otros metales como el cobre, facilitando el transporte y la instalación del equipo. Su estética moderna y pulida también lo hace preferido en muchas instalaciones industriales y artesanales, añadiendo un toque de profesionalismo y limpieza al entorno de producción. [18]



Figura 9. Acero inoxidable

1.3.10 Cobre

El cobre es un material crucial para la elaboración de alambiques debido a sus excelentes propiedades térmicas y su capacidad única para mejorar la calidad del destilado. Uno de los principales beneficios del cobre es su alta conductividad térmica, que permite una distribución uniforme del calor durante el proceso de destilación. Esto asegura que el líquido se caliente de manera consistente, reduciendo el riesgo de puntos calientes que podrían causar quemaduras o sabores no deseados en el producto final. Además, el cobre facilita una destilación más eficiente, lo que resulta en un rendimiento optimizado del alambique. [19]

Un aspecto significativo del cobre es su capacidad para interactuar con compuestos sulfurados presentes en el líquido a destilar. Durante la destilación, el cobre reacciona con estos compuestos, eliminándolos del destilado y mejorando significativamente el

sabor y el aroma del producto final. Esta propiedad es especialmente valiosa en la producción de bebidas espirituosas como el whisky, el ron y el brandy, donde la pureza del sabor es fundamental. La reacción con los sulfuros también ayuda a prevenir olores desagradables, asegurando un destilado más limpio y agradable.

El cobre es altamente maleable, lo que facilita la fabricación de alambiques con formas y diseños complejos que pueden mejorar el proceso de destilación. Los alambiques de cobre pueden ser personalizados y adaptados para cumplir con las necesidades específicas de cada destilador, permitiendo un mayor control sobre el proceso y los resultados. A pesar de ser más costoso y requerir un mantenimiento regular para evitar la oxidación, las ventajas que ofrece el cobre en términos de calidad del destilado y eficiencia del proceso hacen que sea la elección preferida para muchos destiladores profesionales alrededor del mundo. [19]



Figura 10. Cobre

1.3.11 Destilación

La destilación es un procedimiento empleado para la separación de mezclas, generalmente de líquidos, que contienen sustancias con diferentes puntos de ebullición. La eficacia de la separación aumenta a medida que la diferencia entre los puntos de ebullición de los componentes de la mezcla es mayor, lo que significa que se logra obtener los componentes con un grado de pureza más elevado [10].

- ***Parámetros de destilación***

En el proceso de destilación participan diversos factores, tales como temperatura, presión, composición, energía, presión de vapor, volatilidad, entre otros. A continuación, se describen algunos de estos parámetros:

- ***Temperatura:*** Ejerce una influencia significativa en la presión de vapor y en la cantidad de energía suministrada al sistema. Además, afecta los procesos de evaporación y condensación de las sustancias destinadas a la destilación [11].

- ***Presión:*** Impacta en los puntos de ebullición de los líquidos, siendo que, a mayor presión, menor será el punto de ebullición y viceversa [11].

- ***Puntos de ebullición:*** Representa la temperatura a la cual los compuestos puros alcanzan una presión de vapor equivalente a la presión atmosférica, dando lugar al fenómeno de ebullición [11].

- ***Presión de vapor de un líquido:*** Indica la presión ejercida por las moléculas del líquido que han pasado a la fase de vapor en un recipiente cerrado, estableciendo un equilibrio entre vapor y líquido. En consecuencia, una mayor presión de vapor del líquido se traduce en una menor temperatura de ebullición [11].

- ***Volatilidad:*** Se define como la medida de la facilidad con la que una sustancia se evapora [12].

1.3.12 Tipos de Destilación

- ***Destilación Simple***

La destilación simple, ilustrada en la Figura 8, implica el calentamiento de una mezcla hasta alcanzar la temperatura de ebullición de uno de los líquidos presentes en ella. Esto provoca la evaporación, seguida por el flujo del vapor a través de una torre de condensación donde se enfría, resultando en la obtención del líquido destilado. En teoría, el líquido obtenido se separa de los otros componentes presentes en la mezcla original [13].

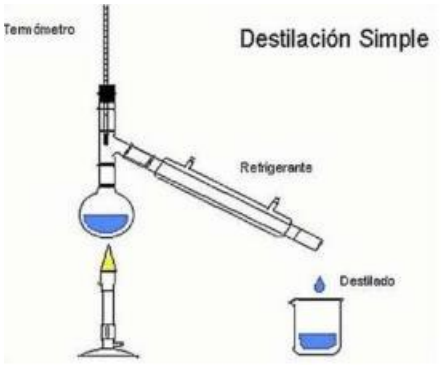


Figura 11. Destilación simple

- ***Destilación Fraccionada***

La destilación fraccionada, representada en la Figura 12, constituye una técnica que facilita la separación de mezclas líquidas más complejas, caracterizadas por tener componentes con volatilidades similares. En este proceso, una porción del destilado retorna desde el condensador y gotea a lo largo de una columna extensa que contiene múltiples placas. Concurrentemente, el vapor que se dirige al condensador provoca burbujas en el líquido presentes en estas placas. De este modo, la interacción en cada una de las placas se asemeja a una redestilación, logrando así obtener un producto destilado con un grado de pureza superior [14].

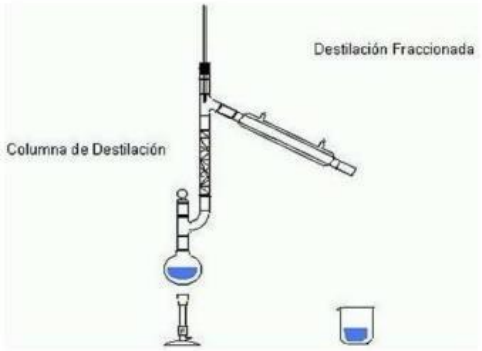


Figura 12. Destilación fraccionada

a. Fermentación Alcohólica

La fermentación alcohólica, también llamada fermentación etílica, es un proceso biológico en el que las levaduras u otros organismos transforman el azúcar de cereales, frutas o vegetales en alcohol y dióxido de carbono. Este proceso ocurre sin oxígeno y

se emplea en la producción de una variedad de productos esenciales como queso, medicamentos y vinos. El alcohol resultante puede asumir diversas formas y tiene usos adicionales como limpiador, antiséptico o sedante. [15]

Una razón por la cual la fermentación puede detenerse es debido al contenido alcohólico alcanzado, ya que la levadura puede volverse resistente al etanol. Por lo tanto, el producto fermentado puede no tener un alto grado de alcohol, y se utiliza la destilación para purificar esta sustancia.

- ***Alcohol Etílico***

El alcohol etílico, también conocido como etanol, es un líquido derivado de la fermentación de azúcares presentes en cereales, frutas o vegetales. Se trata de un compuesto químico orgánico, inflamable e incoloro, con una densidad relativa de 0,789 a 20 °C. Se emplea en la producción de una variedad de productos como bebidas, combustibles, disolventes, desinfección de heridas. [16]

"La cabeza" Es el destilado que proviene de los primeros vapores, representando aproximadamente el 1 o 2% del total. Esta porción, con un alto contenido de alcohol y predominancia de sustancias volátiles muy aromáticas llamadas flemas, generalmente se recoge en un recipiente separado del siguiente destilado. Posteriormente, junto con la última fracción, se incorpora a la mezcla de una destilación futura. Sin embargo, algunos consideran que para ciertos aguardientes esta fracción contiene componentes valiosos.

"El corazón" Es la fracción del destilado en la que los aromas, el alcohol y el agua están mejor equilibrados, por lo que se considera la parte principal del destilado. Su contenido alcohólico, que usualmente varía entre 60 y 80 grados, depende del método, ritmo y duración de la destilación correspondiente.

"La cola" Como su nombre lo indica, es la fracción final del destilado. Aquí predominan las sustancias indeseables y una gran cantidad de agua. Al no tener valor por sí sola, se añade a la mezcla de una destilación futura, junto con la cabeza si es necesario.

Tabla 2. Clasificación de los estados de destilación

Cabeza	Corazón	Cola
93 - 70	69 - 50	49 - 20

- ***Bebidas Fermentadas***

Las bebidas fermentadas son aquellas elaboradas a partir de frutas o cereales, en las cuales los azúcares naturales presentes se transforman en alcohol mediante la acción de levaduras. Este proceso de fermentación implica que las levaduras metabolizan los azúcares, produciendo etanol y dióxido de carbono como subproductos. Este método de producción no solo genera el contenido alcohólico de la bebida, sino que también contribuye a desarrollar su perfil de sabor y aroma característico. Estas bebidas pueden variar ampliamente en términos de ingredientes, métodos de fermentación y resultado final. [17]

Tabla 3. Tipos de bebidas fermentadas

Bebida	**Ingrediente principal**	**Fermentación**	**Graduación Alcohólica**
Cerveza	Cebada (malta)	Fermentación de azúcares por levaduras (Saccharomyces cerevisiae y Saccharomyces pastorianus)	4 - 12%
Vino	Uvas	Fermentación de azúcares por levaduras (principalmente Saccharomyces cerevisiae)	9 - 16%
Sake	Arroz	Fermentación de azúcares por levaduras, con la ayuda de koji (Aspergillus oryzae)	14 - 20 %
Hidromiel	Miel	Fermentación de azúcares por levaduras (Saccharomyces cerevisiae)	5 - 20 %
Chicha (Guarapo)	Maíz, frutas u otros granos	Fermentación de azúcares por levaduras y bacterias nativas	1 - 12%
Sidra	Manzanas	Fermentación de azúcares por levaduras (Saccharomyces cerevisiae y otras)	4 - 6 %

1.3.13 Bebidas Destiladas

Las bebidas destiladas, también conocidas como licores o espirituosas, son aquellas que se obtienen mediante el proceso de destilación de una bebida fermentada. La destilación es una técnica que implica calentar el líquido fermentado para convertirlo en vapor y luego enfriar ese vapor para condensarlo nuevamente en líquido. Este

proceso permite separar el alcohol y otros componentes volátiles del agua y de otras sustancias menos deseables presentes en la mezcla original.

- ***Características de las bebidas destiladas***

Alta Graduación Alcohólica. - Generalmente tienen un contenido de alcohol más alto que las bebidas fermentadas, típicamente entre 20% y 50% o más.

Variedad de Sabores. - Dependiendo del ingrediente base y del proceso de destilación, las bebidas destiladas pueden tener una amplia gama de sabores y aromes

Envejecimiento. - Muchas bebidas destiladas se envejecen en barricas de madera, lo que añade complejidad y profundidad a su perfil de sabor.

Las bebidas destiladas tienen una rica tradición y son apreciadas en todo el mundo por su diversidad y la habilidad artesanal involucrada en su producción.

Tabla 4. Tipos de bebidas destiladas

Bebida	**Origen**
Whisky	Granos (cebada, maíz, centeno)
Vodka	Cereales, papas
Brandy	Vino (uvas)
Tequila	Agave azul
Ron	Caña de azucar, melaza
Ginebra	Cereales (trigo, cebada)
Aguardiente de Caña	Jugo fermentado de caña

1.3.14 Licor destilado de caña

El licor de caña, conocido comúnmente como aguardiente o "puntas", es una bebida alcohólica tradicional en Ecuador. Se elabora a partir de la fermentación y destilación del jugo de caña de azúcar, una planta que se cultiva abundantemente en varias regiones del país. Este proceso artesanal se ha transmitido de generación en generación, y su producción es particularmente notable en zonas rurales y montañosas donde las destilerías familiares siguen utilizando métodos ancestrales. El aguardiente

de caña es un símbolo de la cultura ecuatoriana y su elaboración refleja la rica historia agrícola y cultural del país.

En Ecuador, el licor de caña tiene un papel importante en diversas celebraciones y rituales. Se utiliza en fiestas populares, eventos religiosos y ceremonias tradicionales, donde a menudo se consume para brindar por la salud, la prosperidad y la buena fortuna. Además, en algunas comunidades indígenas, el aguardiente de caña es empleado en ceremonias espirituales y se cree que tiene propiedades curativas. La bebida también se integra en la gastronomía local, siendo un ingrediente clave en la preparación de cócteles y platos típicos que destacan el sabor auténtico de la región.

A pesar de su arraigo cultural, el licor de caña ha enfrentado desafíos debido a la competencia con bebidas alcohólicas comerciales y la regulación gubernamental. Sin embargo, en los últimos años ha habido un resurgimiento del interés por productos artesanales y locales, lo que ha revitalizado la producción de aguardiente de caña. Este renacimiento no solo ha ayudado a preservar una parte importante del patrimonio cultural ecuatoriano, sino que también ha proporcionado una fuente de ingresos para muchas comunidades rurales. Así, el licor de caña sigue siendo un emblema de la identidad y la tradición ecuatoriana, adaptándose a los tiempos modernos sin perder su esencia ancestral. [17]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar una máquina destiladora automatizada para el proceso de alcohol de caña.

1.4.2 Objetivos Generales

- Investigar los procesos que intervienen dentro de la destilación de licor de caña.
- Analizar los equipos necesarios para la fabricación de una máquina de destilación de licor de caña

- Construir una máquina de destilación automatizada diseñada específicamente para llevar a cabo el proceso de extracción de alcohol de caña de manera eficiente y automatizada.

- Elaborar un manual que comprenda el diseño y funcionamiento de la máquina automatizada de destilación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Un alambique es una máquina utilizada para destilar líquidos, como el licor de caña y se compone de materiales principales como el acero inoxidable y el cobre, ya que, al tratarse de ser un proceso de ebullición, estos elementos son buenos conductores de temperatura.

A continuación, en la Tabla 5 y 6 se presenta la información detallada de los materiales que se utilizaron en la construcción de la destiladora, además de softwares para el control y programación de la misma.

Tabla 5. Materiales utilizados

Materiales	**Descripción**
Laptop	Dispositivo electrónico de procesamiento de información para el desarrollo del proyecto
Celular	
PLC S7 - 1200	Controlador lógico programable
Prototipo de Destiladora	Modelo físico elaborado a base de cobre y acero inoxidable que será utilizado para establecer pruebas de funcionamiento y validación
Sensor de nivel	Sensor tipo boya de acero inoxidable
Control de temperatura	Aparato compuesto por una pantalla led incluido para la visualización de temperatura de manera digital en marca ECS 961 NEO
Sensor de temperatura	Termopar tipo J
Motor de refrigeración	Equipo de refrigeración mediante gas
Tanque de almacenamiento	Tanque para el almacenamiento de agua
Bomba de Agua	Elemento para distribución de agua
Tubería PVC	Utilizado para el trayecto del agua
Módulo de encendido eléctrico de cocinas	Módulo generador de llama mediante un electrodo de ignición
Electroválvula solenoide	Establecido para el paso de gas
Tanque GLP	Insumo de generación de llama en caldera
Disyuntor de 3 polos	Aparato de suministro de energía dentro del tablero de control
Relés	Utilizados para el paso de energía mediante activación de bobina
Elementos de Control	Pulsador, Paro de emergencia

Tabla 6. Softwares utilizados.

Materiales	**Descripción**
Microsoft Word	Software utilizado para la edición de texto.
Cadesimu	Programa utilizado para el modelado en 2D y 3D para el desarrollo de planos del sistema eléctrico de la máquina
AutoCad	Software de elaboración de maquinaria a escala en 3D
Tia Portal V16	Software de programación y control del elemento PLC y sistema HMI

Los materiales fueron seleccionados para establecer una máquina funcional, tanto en diseño mediante softwares, así también como en construcción, para así garantizar un rendimiento eficiente, automatizado y confiable en el proceso de destilación.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

Este proyecto de investigación tiene un enfoque práctico orientado a aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria para resolver problemas del mundo real. En particular, aborda dificultades de aprendizaje en automatización identificada en la carrera de Ingeniería Industrial.

Utiliza una modalidad cualitativa-cuantitativa que permite tanto comprender en profundidad las causas subyacentes de estos problemas educativos como cuantificar variables relevantes para su solución.

El objetivo final es consolidar la formación académica mediante su puesta en práctica para proveer soluciones efectivas, fundamentadas en la evidencia, que mejoren la enseñanza y el aprendizaje de conceptos cruciales de automatización industrial.

- ***Investigación Bibliográfica – Documental***

La investigación bibliográfica busca expandir el conocimiento en un área temática mediante la revisión de publicaciones científicas previas. Se basa en la compilación y análisis de información proveniente de fuentes confiables y validadas como libros, artículos académicos, revistas indexadas, bases de datos especializadas, normativas vigentes y sitios web de instituciones reconocidas.

El propósito de este tipo de investigación documental es aprovechar los aportes y avances ya realizados por diversos expertos sobre un tópico, para obtener una comprensión exhaustiva del estado actual y fronteras del conocimiento en ese campo. Más que generar nuevo conocimiento primario, la meta es expandir el propio acervo teórico y práctico mediante la revisión sistemática de estudios previos.

Un proceso de investigación bibliográfica riguroso permite no sólo enriquecer la perspectiva, sino también identificar áreas que requieren mayor evidencia, problematizar afirmaciones establecidas y determinar oportunidades para investigaciones futuras.

- ***Investigación de campo***

Este proyecto utilizará una metodología investigativa de tipo experimental y trabajo de campo, orientada a la aplicación práctica del conocimiento técnico. Consistirá en el diseño, construcción y prueba de funcionamiento de una máquina que servirá como prototipo tecnológico.

- ***Investigación Aplicada***

Este proyecto aplicado involucra la construcción de un prototipo funcional integrando conocimientos adquiridos durante la carrera en las áreas como:

- Automatización Industrial y Robótica: Para la selección e integración del PLC, módulos de entradas y salidas, instrumentación eléctrica, sensores actuadores y demás componentes de un sistema de control.

- Instrumentación Industrial: Para el diseño y calibración de los circuitos de medición de variables como temperatura, humedad y velocidad críticas en el proceso.

- Instrumentación Virtual: Para desarrollar mediante software especializado la interfaz hombre – máquina que permitan monitorear y controlar el proceso de manera remota.

- Simulación: Moldear el comportamiento del sistema de destilación y conocer el desempeño ante distintos escenarios, previo a la construcción.

- AutoCAD: Elaboración de planos mecánicos, que definan dimensiones de la maquinaría.

- Máquinas eléctricas: Para el diseño de planos eléctricos de instrumentación para poder llevar a cabo una correcta instalación física.

- Química: Para conocer cómo funciona los cambios de estados de la materia poniéndolos a prueba dentro de la destilación.

La aplicación práctica abordará aspectos cruciales como: selección de controlador lógico y módulos de E/S; diseño de circuitos de medición de temperatura, humedad y velocidad; interfaces de monitoreo y control; modelado del proceso para evaluación previa; y diagramas de ingeniería.

De esta forma, se pondrán en práctica de manera consolidada estas competencias técnicas para resolver la necesidad de soluciones accesibles, sentando las bases de sistemas industriales replicables.

- ***Investigación Exploratoria***

La investigación exploratoria es útil para entender en profundidad las causas subyacentes de problemas complejos. En este caso, permitirá realizar un diagnóstico detallado de la situación actual del taller de la facultad, revelando información valiosa.

Esto no sólo será de interés para mejorar el taller mismo, sino también para que empresas puedan utilizar estas perspectivas de sus propios procesos a automatizar. Al elucidar dificultades desde sus raíces, se facilita el diseño de soluciones de automatización efectivas y bien adaptadas.

En síntesis, el enfoque exploratorio es relevante porque ayuda a clarificar las condiciones reales en las que se busca implementar mejoras tecnológicas. Esta comprensión situada es esencial para lograr una modernización exitosa mediante incorporación apropiada de automatización.

2.2.2 Recolección de información

Este proyecto involucrará una extensa revisión bibliográfica de fuentes confiables como tesis, publicaciones científicas, artículos académicos, manuales técnicos, libros especializados y sitios web de instituciones reconocidas, entre otras.

La investigación documental cubrirá conceptos clave y avances en automatización industrial, tanto teóricos como aplicados. Permitirá conocer el estado del arte para implementar soluciones actualizadas y optimizadas.

Además, esta fase sentará bases sólidas al fundamentar el desarrollo posterior en conocimiento previo validado, en lugar de supuestos o especulación. La curación de contenido relevante es esencial para un proyecto bien sustentado y eficiente.

En síntesis, la información recopilada nutrirá todas las etapas, proveyendo comprensión integral y profunda de aspectos medulares para un óptimo diseño e implementación.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

El presente proyecto se basó principalmente en la automatización de una destiladora teniendo como objetivo principal el diseño y construcción de una máquina automatizada la cual permite optimizar los procesos de producción de alcohol de caña. Cabe destacar que la automatización busca mejorar la eficiencia, rendimiento y calidad en el proceso de obtención de alcohol, a través de un control preciso de variables críticas como temperatura, nivel y tiempos de destilación.

Haciendo énfasis en el proceso de elaboración de alcohol a partir de caña se evaluó la eficiencia y efectividad que cumple el sistema automatizado en contraste con métodos de destilación tradicionales, donde, a partir de ello, se obtuvieron datos que comprobaron el rendimiento final del producto en cuestión mediante el uso de sensores en la destiladora lo cual permitió obtener valores de los ciclos de destilación que se registraron en intervalos regulares permitiendo la obtención de datos más precisos.

En base a lo mencionado en el apartado anterior, el presente proyecto se llevó a cabo siguiendo los siguientes criterios:

- Evaluación de la calidad de la información, descartando datos inconsistentes o irrelevantes
- Representación gráfica de la información utilizando el software Microsoft Word.
- Creación de diagramas mediante el software CADESIMU.
- Examinar la información derivada del rendimiento de la máquina.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo del presente proyecto de investigación se basó principalmente en la construcción y automatización de una destiladora donde a través de cálculos de volumen se determinó la eficiencia del proceso productivo. En la Figura 13 se observa los elementos de control que se implementaron, así como instrumentos de automatización manejados mediante PLC SIEMENS 1200 DC/DC/DC de 24V, se escogió sensores, pulsadores, relés, y actuadores idóneos para el correcto funcionamiento de la destiladora, donde finalmente se obtuvo un licor según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1837 ya que es proveniente del fermentado de una fruta y consumibilidad según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 338.

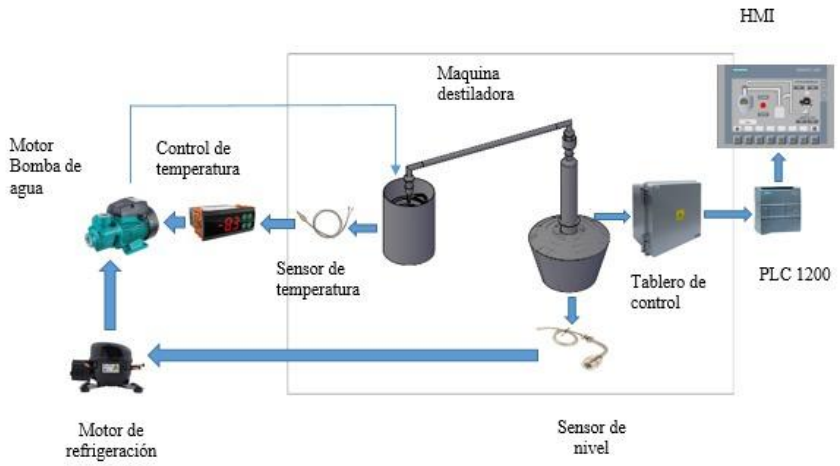


Figura 13. Esquema general del proceso de automatización y control de destiladora.

3.1 Diseño de la destiladora

3.1.1 Selección del acero inoxidable

La AISI es una organización que desempeña un papel crucial en la estandarización y regulación de los tipos de acero que existen en el mercado. Esta institución proporciona un sistema de designación que ayuda a identificar las composiciones químicas y las propiedades mecánicas de los diferentes tipos de acero, facilitando así su selección y uso adecuado en diversas aplicaciones industriales [24].

En la Tabla 7 se observa el material más idóneo para la construcción de un alambique, cabe mencionar que al ser catalogado como máquina de amplio uso industria alimenticia, el producto final debe ser consumible, por lo tanto, la opción de acero inoxidable categorizado como “AISI 304” es la más accesible, está disponible en el mercado y se adapta a las condiciones establecidas para la elaboración de productos de grado alimenticio.

Para un mejor contexto de lo mencionado, es necesario destacar que el acero es un producto fundamental en la industria moderna y su producción y clasificación están normadas por la AISI (American Iron and Steel Institute). La AISI categoriza los aceros inoxidables en diversas series, como la serie 200, 300 y 400, cada una con características y aplicaciones específicas. La serie 300, por ejemplo, incluye aceros inoxidables auténticos como el AISI 304, que es conocido por su excelente resistencia a la corrosión y buena formalidad, siendo ampliamente utilizado en la fabricación de equipos de cocina, tanques de almacenamiento y componentes arquitectónicos [24].

Además de clasificar los aceros inoxidables, la AISI también proporciona directrices sobre las prácticas de fabricación, tratamiento térmico y acabado de los productos de acero. Esto asegura que los productos de acero cumplan con los estándares de calidad y rendimiento requeridos en las industrias de construcción, automotriz, aeroespacial, entre otras, como se detalla en la Tabla 7 [24] [25].

Tabla 7. Tipos de acero según la AISI

Característica	AISI 304	AISI 420	AISI 329
Composición Química	Cromo (Cr): 18-20%	Cromo (Cr): 12-14%	Cromo (Cr): 23-28%
	Níquel (Ni): 8-10.5%	Carbono (C): 0.15-0.35%	Níquel (Ni): 2.5-5%
	Carbono (C): ≤ 0.08%	Manganeso (Mn): ≤ 1%	Manganeso (Mn): ≤ 1%
	Manganeso (Mn): ≤ 2%	Silicio (Si): ≤ 1%	Silicio (Si): ≤ 1%
	Silicio (Si): ≤ 0.75%		Molibdeno (Mo): 1-2%
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la tracción: 515-720 MPa	Resistencia a la tracción: 700-930 MPa	Resistencia a la tracción: 620-880 MPa
	Límite elástico: ≥ 205 MPa	Límite elástico: ≥ 345 MPa	Límite elástico: ≥ 450 MPa
	Dureza: 70 HRB	Dureza: 48-56 HRC	Dureza: 260 HB
Resistencia a la Corrosión	Alta en ambientes moderadamente corrosivos	Moderada, buena resistencia en ambientes poco corrosivos	Muy alta, especialmente en ambientes marinos o químicos
Soldabilidad	Excelente, se puede soldar fácilmente	Buena, pero requiere precalentamiento y tratamiento posterior	Buena, pero puede requerir precalentamiento y tratamiento posterior
Maquinabilidad	Buena	Buena	Regular
Aplicaciones Comunes	Equipos de cocina, tuberías, estructuras, decoración	Cuchillos, instrumentos quirúrgicos, válvulas	Componentes marinos, intercambiadores de calor, industria química

A través de la información detallada en la Tabla 7, se seleccionó el acero con numeración 304, por lo cual se obtuvo 3 planchas de 1,22 x 2,44 metros de acero inoxidable de 2 milímetros de espesor, ya que, al ser resistente a la corrosión intercristalina (hasta 300°C) causada por el entorno, vapor, agua y soluciones ácidas y alcalinas el material utilizado se mantiene en condiciones óptimas para la elaboración de productos de grado alimentario [26].

3.1.2 Diseño del tanque de ebullición

Como se observa en la Figura 14, en la elaboración del tanque de ebullición se consideró un volumen mayor a 65 litros de líquido quemado para lo cual se realizó una

figura cónica con un diámetro menor de 40 cm y un diámetro mayor de 60 cm, además se consideró una altura de 35 cm para almacenamiento de líquido. Esta medida se utilizó para que el proceso de ebullición dentro de la cámara sea adecuado ya que caso contrario, la altura sería más prolongada.



Figura 14. Tanque de ebullición

En la Tabla 8 se proporciona información detallada respecto a las especificaciones del acero inoxidable que se utilizaron para la construcción del tanque de ebullición. El acero inoxidable desempeña un papel crucial en el almacenamiento de materia prima (guarapo) y la regulación de temperatura y presión durante su exposición a calor extremo.

Tabla 8. Especificaciones del tanque

Diámetro Mayor	60 cm
Diámetro menor	30 cm
Altura	35 cm
Tipo de unión	Suelda tipo TIG
Cara interior	Acero mate
Cara exterior	Acero con protección de plástico
Espesor	2mm

El cálculo de área y volumen del tanque de ebullición se determinó utilizando las dimensiones que se representan en la Figura 15, tanto de diámetros y altura, según se detalla a continuación:

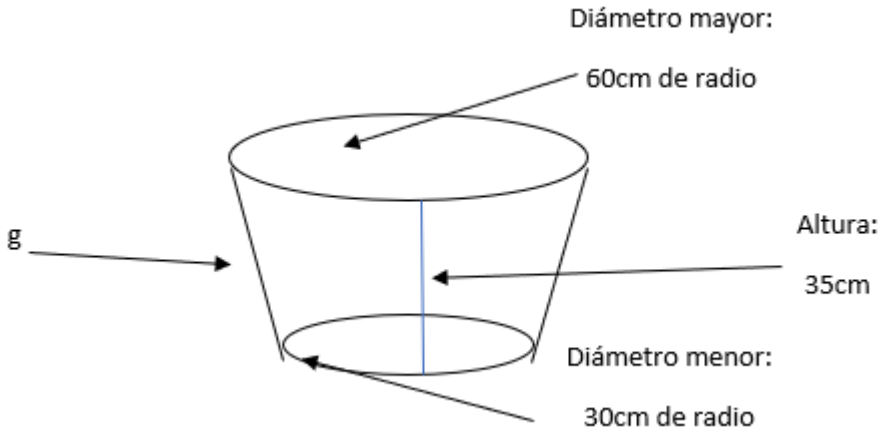


Figura 15. Diagrama de construcción del tanque de ebullición

Formula:

Ecuación 1. Área del recipiente

$$Área = Área\ diametro\ mayor + Área\ diámetro\ menor + Área\ Lateral$$

$$Área = \pi rmayor^2 + \pi rmenor^2 + \pi g\ (rmayor + rmayor)$$

Donde "g" es la generatriz de unión entre ambos radios a la altura establecida, para esto debemos realizar el cálculo simulando un triángulo rectángulo obteniendo:

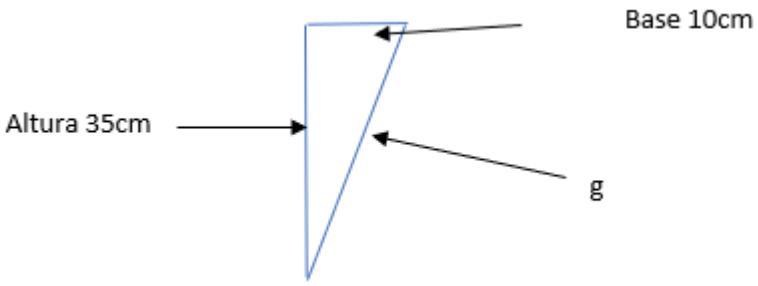


Figura 16. Triangulo rectángulo para hallar la hipotenusa "g"

Datos:

Cateto Opuesto = 10cm

Cateto Adyacente = 35cm

Ecuación 2. Distancia de la generatriz

$$g^2 = 10cm^2 + 35cm^2$$

$$g = 36{,}4cm$$

Una vez obtenida la generatriz se aplicó la ecuación 1 obteniendo el área del tanque de ebullición:

$$Área = \pi(20cm)^2 + \pi(30cm)^2 + \pi 36{,}4cm\ (20cm + 30cm)$$

$$Área = \pi(400cm^2 + 900cm^2 + 1820cm^2)$$

$$Área = \pi(400cm^2 + 900cm^2 + 1820cm^2)$$

$$Área = 1820\pi cm^2$$

Utilizando la ecuación 3 se obtuvo el valor del volumen del tanque de ebullición

Ecuación 3. Volumen del tanque

$$V = \frac{\pi(radiomayor^2 + radiomenor^2 + (radiomayor\ x\ radio\ menor)altura}{3}$$

$$V = \frac{\pi((30cm)^2 + (20cm)^2 + (30cm\ x\ 20cm))35cm}{3}$$

$$V = \frac{\pi(900cm^2 + 400cm^2 + 600cm^2)35cm}{3}$$

$$V = 69683{,}63cm^3$$

$$V = 69683{,}63cm^3 = 0{,}06963m^3 = 69{,}63litros$$

- ***Volumen de trabajo***

Mediante investigación de campo enfocada en el cantón Pangua parroquia El Corazón (Cotopaxi) se centró la atención en diversos artesanos dedicados a la elaboración de alcohol de grado alimenticio en destiladoras artesanales (alambique) y de acuerdo con

lo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2 322:2002 se estableció una relación de líquido y espacio libre en proporción 80:20 respectivamente, por lo tanto, para el cálculo se estimaron los datos que se detallan a continuación:

Volumen Total = 69,63 litros

Cálculo para el área real de trabajo:

$$69{,}63\ litros\ x\ 0{,}8 = 55{,}7\ litros$$

Es decir que se tiene un volumen de trabajo de 55,7 litros y un espacio libre de 13,93 litros.

3.1.3 Torre de destilación

Para la torre de destilación, se implementó un diámetro externo de 30 cm siendo este la mitad del diámetro mayor del tanque de ebullición y un diámetro interno de unión superior de 14 cm, además de una altura de 105cm. Se aplicó la teoría de la destilación fraccionada, como se observa en la Figura 12, ya que se efectuó platos de tipo perforado y estrella como se muestra en la Figura 17 y 18.



Figura 17. Plato de fraccionamiento tipo perforado.



Figura 18. Plato de fraccionamiento tipo estrella.

En la Tabla 9 se describe detalladamente los parámetros utilizados para la elaboración de la torre de destilación, especificando sus componentes principales de diseño.

Tabla 9. Especificaciones de torre de destilación

Diámetro exterior	30 cm
Diámetro interior superior	14 cm
Altura	105 cm
Tipo de unión	Suelda tipo TIG
Material cara interior	Acero mate
Material cara exterior	Acero con protección de plástico
Espesor	2mm
Número de platos	2 platos de fraccionamiento
Tipo de platos	Plato tipo perforado y plato tipo estrella

Los datos detallados en la Tabla 9 proporciona especificaciones técnicas que fueron idóneas pues, sus dimensiones y diseño fueron apropiados ya que el proceso de destilación fue eficiente y seguro, además el espesor y el tipo de soldadura asegura la durabilidad y la resistencia estructural de la torre.

En la punta de la torre de destilación, se adaptó el primer condensador de cobre, de manera que, al subir el vapor, tiene una pequeña refrigeración para que así, parte del vapor se convierta en líquido y siga bajando hacia el condensador final y tener un cambio de estado de gaseoso a líquido. Como se observa en la Figura 19.



Figura 19. Primer condensador de cobre

3.1.4 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es un enfriador diseñado específicamente para remover calor y facilitar la transición de estado gaseoso a estado líquido. Basándose en dicho principio, se desarrolló un sistema cilíndrico con serpentín con una capacidad de 14

litros. Su funcionamiento se estableció en el bombeo de agua a través de recirculación de agua fría, que permite el intercambio térmico en las paredes del serpentín.

- ***Serpentín***

La tubería de serpentín fue elaborada con cobre flexible. El diámetro tiene un valor de ¾ de pulgadas (1,905 cm aproximadamente), con una longitud de 204 cm. Como se observa en la Figura 20.



Figura 20. Tubería de cobre ¾

En la Tabla 10 se detalla las dimensiones, material y espesor de la tubería utilizada.

Tabla 10. Especificaciones de serpentín.

Material de tubería	Cobre flexible
Propiedades del material	Excelente conductividad térmica y eficiencia para el transporte de fluidos o gases
Resistencia	Soporta condiciones de temperature extrema
Diámetro	¾ de pulgada (1,905 cm aproximadamente)
Longitud	204 cm
Tipo de unión	Suelda autógena.

En conjunto, las características detalladas en la Tabla 10 asegura un rendimiento óptimo en el sistema de enfriamiento dentro de la aplicación de destilación.

Mediante la ecuación 4, se calculó el diámetro promedio necesario de cada vuelta del serpentín, dado el valor de longitud de tubería.

Ecuación 4. Longitud de la tubería de cobre

$$L = \pi \; x \; N \; x \; D$$

Donde:

L es la longitud del tubo

D es el diámetro promedio

N es el número de vueltas

Por lo tanto, para obtener el diámetro promedio “D” se obtuvo la siguiente ecuación

Ecuación 5. Diámetro de la tubería

$$D = \frac{L}{N\ x\ \pi}$$

$$D = \frac{2{,}04\ m}{5\ x\ \pi}$$

$$D = 0{,}1298\ m\ x\ \frac{100cm}{1m} = 12{,}98\ cm$$

Aproximando el valor obtenido, se definió un diámetro promedio de 13 cm, al ser una tubería de ¾ de pulgada. Como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Serpentín de cobre

- ***Tanque de enfriamiento.***

El tanque de enfriamiento tiene como función almacenar agua fría que rodea al serpentín y permite la condensación de estado gaseoso (vapor destilado) ha estado líquido.

En la Tabla 11 se detallan las especificaciones y dimensiones establecidas para la construcción del tanque refrigerante.

Tabla 11. Especificaciones del tanque refrigerante

Diámetro	19 cm
Altura	52 cm
Tipo de unión	Suelda tipo TIG
Material cara interior	Acero mate
Material cara exterior	Acero con protección de plástico
Espesor	2mm

Además, se adaptó una salida de agua con acople de un tubo plástico de una pulgada para circulación de agua óptima. Como se muestra en la Figura 22.



Figura 22. Tanque refrigerante.

Mediante la Ecuación 6, se calculó el volumen de agua que puede almacenar el contenedor con un diámetro de 19 cm y una altura de 52 cm.

Ecuación 6. Volumen de tanque refrigerante.

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

Donde:

r es el radio del contenedor

h es la altura del contenedor

$\boldsymbol{\pi}$ es el valor de pi

$$V = \pi \; x \; (9{,}5cm)^2 \; x \; 52cm$$

$$V = 1473{,}5 \; cm^3 \; x \; \frac{(1m)^3}{(100cm)^3} x \frac{1000 \; litros}{(1m)^3}$$

$$= 14{,}74 \; litros$$

3.2 Sistema de refrigeración

En la Tabla 12 se presenta una secuencia meticulosa para la elección de la unidad condensadora adecuada para el sistema de enfriamiento para el proceso de destilación. Este proceso subraya la criticidad de una selección fundamentada en un análisis exhaustivo de las demandas térmicas especificas del proceso de destilación.

El enfoque descrito garantiza no solo la eficiencia en la remoción de calor, sino también la eficiencia energética y la longevidad del equipó. Cada paso desde la cuantificación precisa de la carga térmica hasta la consideración de las condiciones ambientales del sitio, contribuye a un diseño robusto y adaptado. La atención especial del dimensionamiento correcto del compresor, el corazón del sistema, previene problemas como el sobredimensionamiento, que podría resultar en un desgaste prematuro, o el su dimensionamiento, que comprometería la capacidad de enfriamiento.

Tabla 12. Pasos para la selección de equipo de refrigeración

Pasos	**Detalles**
Carga Térmica del Sistema	Qt= Qtanque + Qinfiltración + Qproductos + Qequipos. Qt= 500BTU/hr + 500BTU/hr + 3000BTU/hr + 500BTU/hr. **Qt= 4500 BTU/hr.**
Selección de Refrigerante	Los refrigerantes son: amoniáco (NH3), freón (R-404, R507) y el CO2. Se consideró que el R-404 ya que es el mas escencial y conocido por su eficiencia energética, a más de su capacidad de operar en bajas temperaturas.
Capacidad de Refrigeración	La capacidad de refrigeración requerida para el sistema de refrigeración de la destiladora utilizando el gas refrigerante R-404 y a una temperatura de operación de 10°C es: Qr = Qt/COP Qr = 4500/3.8 **Qr = 1184,21 BTU/hr**

Las tuberías representadas en las Figura 23 al igual que el serpentín, son de cobre flexible, ampliamente empleadas en sistemas de refrigeración debido a su excelente conductividad térmica y fácil instalación. Tiene un diámetro de 5/8 pulgadas (1,59 cm aproximadamente).



Figura 23. Tubería de cobre 5/8

Con los cálculos establecidos se seleccionó unidad condensadora, la cuál ha sido diseñada para aplicaciones comerciales o industriales de refrigeración, como congeladores, neveras o enfriadores. Su construcción robusta y compacta maneja cargas de refrigeración considerablemente altas y de manera eficiente. En la Tabla 13 se detalla los parámetros de la unidad condensadora

.

Tabla 13. Especificaciones de la unidad condensadora

Voltaje	115 V
Fase	Monofásico
Nivel de temperatura	Media Temperatura
Hp Fracciones	½ Hp
Peso	30 kg
Gas refrigerante	R-404

En la Figura 24 se muestra la unidad condensadora elegida, ya que es un componente clave para el sistema de refrigeración.



Figura 24. Unidad condensadora

3.3 Sistema de redistribución de agua

Para el sistema de redistribución de agua, se utilizaron componentes esenciales como tuberías y válvulas de regulación, además de un motor tipo bomba.

En la Tabla 14 se puede observar el detalle característico de la bomba asignada al sistema de redistribución de agua.

Tabla Tabla 14. Especificaciones de bomba de agua

Especificaciones del motor	
Marca	Leo
Material	Cuerpo y soporte de hierro fundido antioxidante
Modelo	APM37N
Motor	0.5 HP - 0.37 kw
Alimentación	110 v – 220 v
Caudal	5 – 35 litros/min
Boca	Estrada y salida de 1 pulgada

Como se muestra en la Figura 25 el motor tipo bomba es una herramienta esencial que fue crucial para la distribución de agua.



Figura 25. Especificaciones bomba LEO

- ***Tubería***

Las tuberías de plástico para agua son una opción ampliamente utilizada en sistemas de plomería debido a sus numerosas ventajas. Fabricadas principalmente de materiales como PVC (cloruro de polivinilo), PEX (polietileno reticulado) y CPVC (cloruro de

polivinilo clorado), estas tuberías son ligeras, resistentes a la corrosión y fáciles de instalar, además, tienen una alta durabilidad y flexibilidad, lo que permite una instalación más sencilla en espacios reducidos y en distintos proyectos.

Las tuberías de plástico también presentan una menor conductividad térmica, lo que contribuye a mantener la temperatura del agua más constante [27].

En la Tabla 15 se detalla el tipo de tubería seleccionado y sus características.

Tabla 15. Características de la tubería PVC

Característica	**Valor**
Diámetro nominal	1 pulgada
Diámetro exterior (OD)	33.4 mm
Diámetro interior (ID)	26.6 mm
Espesor de pared	3.4 mm
Longitud estándar	6 metros
Presión de trabajo	10 bar (1 MPa)
Material	PVC (cloruro de polivinilo)
Resistencia a la corrosión	Alta
Temperatura máxima de trabajo	60 °C
Uso recomendado	Agua potable, riego, desagüe
Color	Gris
Norma de fabricación	ASTM D1785

Con la tubería se implementaron componentes de regulación, por lo cual se utilizó codos de una pulgada, “T” de conexión de 3 salidas de una pulgada [28]. Así como se muestra en la Figura 26



Figura 26. Tubería y componentes de PVC

3.4 Caldera

En la Tabla 16 se presenta una secuencia comparativa para la elección del tipo de calor adecuado para el sistema de caldera en el proceso de destilación. Este proceso subraya la criticidad de una selección fundamentada en un análisis exhaustivo.

Tabla 16. Aspectos de comparación

Aspecto	GLP (Gas Licuado de Petroeo)	Inducción Magnética
Costo Inicial	Bajo	Alto (necesidad de utensilios especiales)
Costo Operativo	Moderado	Alto (Consumo energético mayor)
Disponibilidad	Amplia. No necesita de infraestructura eléctrica	Limitada a infraestructura eléctrica
Velocidad de calentamiento	Alta. Proporciona calor inmediato y transferencia térmica	Alta. Proporciona calor inmediato con generación de campos electromagnéticos
Versatilidad	Alta. Compatible con varios sistemas de encendido y utensilios de aluminio, cobre y acero inoxidable	Baja. Requiere utensilios con base ferromagnética, específico para la inducción
Mantenimiento	Sencillo, con componentes mecánicos simples	Compleja, incluye componentes electrónicos
Seguridad	Riesgo de fugas de gas, requiere ventilación adecuada.	Sin riesgo de incendio o fugas.

Aunque la inducción magnética ofrece ventajas significativas, como una mayor eficiencia energética, se optó por el uso de GLP debido a su practicidad, menor costo inicial y versatilidad en el proceso de destilación. Esta elección se adapta mejor al manejo artesanal, permitiendo un control más sencillo y preciso de la llama según las necesidades de la destilación.

Se diseñó un contenedor el cual rodee al tanque de ebullición, como se muestra en la Figura 27.



Figura 27. Contenedor de generación de flama.

Una vez diseñada, se realizó el cálculo de la transferencia de calor desde la caldera hasta el tanque de ebullición. El guarapo tiene un calor específico de 0,92 cal/g°C. El alcohol tiene un punto de ebullición de 78,3°C. Por lo tanto, al aplicar una temperatura superior a 78,3°C, pero inferior a 100°C a un recipiente que contiene un producto fermentado, el alcohol se evaporará y se separará del líquido original.

En la Ecuación 7 se presenta la cantidad necesaria de calor para poder someter el producto fermentado a una temperatura de 78.3°C y con una temperatura ambiente promedio de 18°C y con una cantidad de masa de 55,7 lts.

Ecuación 7 Fundamental de la calorimetría.

Donde:

Q= Calorías necesarias

M= Masa de la sustancia

Ce= Calor específico

Delta T = Variación de temperatura

$$Q = m\ x\ Ce\ x\ \Delta T$$

$$Q = 55{,}700g\ x\ 0{,}92\frac{cal}{g\ °C}\ x\ (78{,}3°C - 18°C)$$

$$Q = 30090\ kcal$$

La cantidad necesaria es de 30090 kilo calorías que hay que suministrar a un gramo de guarapo para elevar su temperatura un grado centígrado en un rango de 18°C a 78,3°C.

En la Tabla 17 se detallan los elementos de protección y control para el sistema de caldera, así también como el sistema de encendido seleccionado.

Tabla 17. Elementos de la caldera

Elemento	Descripción
Electroválvula de gas	Dispositivo electromecánico diseñado para controlar el flujo de gas en sistema de distribución a 110V
Electrodo de ignición	Elemento encargado de generar arco eléctrico para realizar un encendido de la mezcla entre aire y combustible en el quemador
Módulo de encendido eléctrico	Componente con función de corriente alterna de 110V, con un circuito interno diseñado para generar una serie de chispas que encienden el quemador.

El quemador representado en la Figura 28 es ideal para aportar energía calórica constantemente sin sufrir calentamientos ni daños durante su proceso, además de ser adaptable a un electrodo de ignición, tiene una longitud de 25 cm de largo y 15 cm de ancho.



Figura 28. Quemador tipo H

3.4.1 Implementación de tanque de gas

Al ser un tanque de ebullición de poco almacenamiento de líquido se optó por utilizar GLP casero, siguiendo normas de utilización y seguridad para su correcta manipulación y funcionamiento además que nos da un promedió de energía de 8540 Kcal/m3, que es ideal para nuestro tanque de ebullición.

3.4.2 Mangueras de conexión entre artefactos y cilindros

Las mangueras deben cumplir los requisitos establecidos en la NTE INEN 885 y considerar lo siguiente:

- Las mangueras no deben exceder los 2 metros de longitud. Para longitudes superiores a 2 metros se debe utilizar lo establecido en la norma NTE INEN 2260
- Las mangueras no deben extenderse de un área habitable a otra
- Las mangueras no deben estar empotradas directamente en paredes, techos o pisos [30].

Mediante esta norma se cumple los requisitos como se muestran en la Figura 29.



Figura 29. Manguera de gas desde el cilindro al objeto

Como se puede observar en la figura 30, la manguera es específicamente para el paso de gas.



Figura 30. Manguera para uso exclusivo de paso de gas

3.4.3 Válvulas de presión de gas

Para la válvula de presión de gas, se rigió a las especificaciones de la norma INEN NTE 1682, que cubre a los reguladores de baja presión que trabajan en la fase de vapor, con presiones de salida entre 2,2 y 5 kPa (22 y 50 mbar) a un caudal mínimo de 1000 g/h y máximo de 2000 g/h y dentro del rango de temperatura de operación y/o almacenamiento entre 20 y + 50 °C [31].

Como se observa en la Figura 31, la válvula se es apta y cumple con la normativa INEN NTE 1682.



Figura 31. Válvula de presión de gas.

3.5 Sistema Eléctrico

b. Disyuntor

La selección adecuada de los componentes eléctricos es de gran importancia dentro del diseño del sistema de destilación. Como primer paso se realizó el cálculo de la corriente del arranque de motor de refrigeración y de la bomba de agua, que son valores importantes para determinar la capacidad requerida de los dispositivos de protección eléctrica. La corriente de arranque se estimó multiplicando un factor de 6 por la potencia en caballos de fuerza de cada uno de los elementos, tanto del motor de refrigeración (1/2HP) como de la bomba de agua (1/2HP).

Ecuación 8. Cálculo de arranque de motores

Motor de refrigeración

$$Iarranque = K * Pmotor$$

$$Iarranque = 6 * \frac{1}{2} HP$$

$$Iarranque = 3\ A$$

Bomba de Agua

$$Iarranque = K * Pmotor$$

$$Iarranque = 6 * \frac{1}{2} HP$$

$$Iarranque = 3\ A$$

Con los valores obtenidos de cada uno de los motores se realizó la sumatoria entre los dos arranques y obtener el resultado total de corriente como se muestra en la Ecuación 8.

Ecuación 9. Sumatoria de corrientes

$$VT = Ia1 + Ia2$$

$$VT = 3A + 3\ A$$

$$VT = 6A$$

Ya obtenido el cálculo, se eligió un disyuntor con una corriente nominal igual o mayor a la corriente de arranque de los dos motores dentro del sistema.

Un disyuntor tripolar como se muestra en la Figura 32, es un dispositivo de protección eléctrica de tres polos con una tensión nominal máxima de aislamiento de 415 V. Los disyuntores son componentes esenciales que protegen los circuitos eléctricos y los equipos conectados contra sobre cargas y cortocircuitos.



Figura 32. Disyuntor

c. Relé 24 Vdc

Para la selección del relé se fija en un valor nominal de 10 A. Al multiplicar dicha corriente por la tensión de operación que es de 24 V, se obtiene una capacidad de 240 W. Conociendo esta información, se elige un relé que cumpla al menos con esta capacidad para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro del sistema.

La Figura 33 muestra un relé que particularmente tiene una bobina de acción de activación de bobina de 24 Vdc, integra también una corriente nominal en bobina de 15mA y un rango de voltaje del interruptor de 240 V a 7A y de 125V a 10A.



Figura 33. Relé 24Vdc.

d. Controladores

Se han elegido diversos dispositivos de control, entre ellos un pulsador y un botón de parada de emergencia, conforme se especifica en la Tabla 18. La tensión de alimentación del sistema eléctrico al cual se conectarán estos dispositivos se ha establecido en 110V. Se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva del funcionamiento de cada dispositivo, teniendo en cuenta sus características particulares.

Tabla 18. Controles eléctricos

Aspecto	Descripción
Tipo de dispositivo	Se seleccionó, un pulsador y un paro de emergencia según su función específica
Tensión de alimentación	La tensión de alimentación del sistema es de 110V
Instalación	Se instaló los dispositivos de control en el tablero eléctrico

Conforme se ilustra en la Figura 34, se enumeran los dispositivos de control eléctrico, entre los cuales se encuentran el pulsador y el botón de parada de emergencia, utilizados para la gestión del sistema eléctrico de la destiladora.



Figura 34. Controladores eléctricos.

e. Sensor de nivel

Para el sensor de nivel se optó por elegir un dispositivo capaz de soportar temperaturas a las cuales va a someterse el tanque de ebullición, siendo fundamental que el material del sensor soporte presión y temperaturas de un rango de entre 18°c a 78,3°C y sea funcional dentro del sistema eléctrico a 110V. En la Tabla se detallan las características del sensor.

Tabla 19. Características sensor de nivel

Aspecto	Descripción
Tipo de dispositivo	Sensor de nivel tipo boya
Tensión de alimentación	La tensión de alimentación del sensor 110V
Instalación del dispositivo	Se instaló para medir el nivel de líquido con un mínimo de 15 litros
Material	Bola flotante elaborada con acero inoxidable 304
Voltaje de trabajo	0 – 220V
Resistencia de temperatura	120°C
Corriente de trabajo	0.5 a 1 A

La Figura 35 muestra un sensor de nivel tipo boya que es específica para el control de nuestra destiladora, con una alimentación de 110 V, resistencia a temperaturas hasta 120 °C de material adecuado ´para el funcionamiento.



Figura 35. Sensor de nivel.

f. Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura es un termopar tipo J que está compuesto por conductores metálicos deferentes como el hierro y una aleación de cobre y níquel, que se encuentran unidos de en un extremo para así formar una unión de medición. La diferencia de potencial generada en esta unión, cuando existe una variación de temperatura, es proporcional a la diferencia de temperatura entre la unión de medición y la unión de referencia siguiendo el efecto Seebeck.

Los termopares tipo J se utilizan ampliamente en la industria metalúrgica, en procesos de tratamiento térmico y en la monitorización de motores y sistemas eléctricos. También son empleados en laboratorios de investigación y desarrollo para la medición precisa de temperaturas en experimentos controlados.

En la Tabla 20 se detallan las características del sensor junto con su control de temperatura ECS – 961 NEO.

Tabla 20. Características de sensor de temperatura

Aspecto	Descripción
Tipo de dispositivo	Sensor de temperatura
Tensión de alimentación	alimentación 220V
Instalación del dispositivo	Se instaló para medir la temperatura del agua dentro del condensador de la destiladora en un rango de 30 a 60°C
Dimensión	7,85 x 34,5 x 41 mm
Error	Error típico de ±2.2 °C o ±0,75%
Respuesta térmica	Tiene un tiempo de respuesta rápido debido a la baja masa térmica de la unión
Rango de temperatura	-50 a 99°C

En la Figura 36 se observa el controlador de temperatura el cuál se seleccionó para el sistema de medición de cambio de calor dentro del tanque condensador de la destiladora.

Figura 36. Controlador de temperatura



3.6 Fases del procedimiento de destilación.

La Tabla 20 se presenta las cinco fases principales del proceso de destilación a partir del producto fermentado. Se describe de manera clara y precisa las etapas secuenciales del proceso industrial de destilación, abarcando desde la colocación del insumo a destilar hasta el producto ya destilado.

Tabla 21. Fases de destilación

Fases	Descripción
Primera Fase	El producto a destilar (guarapo) es ingresado manualmente al tanque de ebullición.
Segunda Fase	Luego de ingresar el guarapo, se enciende la caldera para que así genere calor mediante el sistema de activación de gas y encendido del mismo mediante chispa del electrodo de ignición.
Tercera Fase	El calor que se genera provoca el calentamiento del producto dentro del tanque de ebullición generando vapor a presión que permite subir por la torre de destilación
Cuarta Fase	El vapor llega hasta el tanque condensador por medio del serpentín de cobre el cual se mantiene cubierto por agua a una temperatura de 30°C, generando un choque térmico y cambiándolo de estado gaseoso a líquido
Quinta Fase	Después de haber realizado la condensación se obtiene el producto terminado en fase líquida que será recolectado para posteriormente ser almacenado

El proceso de destilación es una técnica bastante utilizada para la obtención de alcohol o líquidos con mayor concentración alcohólica, basándose en la diferencia de puntos de ebullición de los componentes de la solución, además se receptan el vapor generado por el calentamiento de la solución a destilar que son enfriados para obtener l producto destilado, en este caso licor de caña.

3.7 Selección de equipos.

3.7.1 Selección de controlador para automatización.

En la Tabla 21 compara características escánciales para escoger la herramienta adecuada ya sea un PLC (controlador lógico programable) o arduino, para realizar la programación que posee el Taller Tecnológico FISEI-UTA. Se evaluarán aspectos para aplicación industrial, escalabilidad, robustez y ámbito de trabajo, con una ponderación del 1 al 10.

Tabla 22. Selección de controlador

Característica	PLC	Valor	Arduino	Valor
Tipo de dispositivo	Controlador lógico programable	9	Plataforma de hardware de código abierto	7
Programación	Lenguaje de programación industrial (LADDER, FBD, ST)	10	Lenguaje basado en C/C++	5
Entradas/Salidas (I/O)	Alta cantidad de entradas y salidas tanto analógicas como lógicas	9	Cantidad limitada de entradas y salidas	5
Conectividad	Soporte para protocolos industriales(Modbus, Profibus, etc.)	8	Conectividad básica, expandible con módulos adicionales	6
Aplicaciones	Automatización industrial, control de procesos	10	Proyectos educativia, prototipos, aplicaciones industriales a pequeña escala.	7
Robustez	Alta, diseñado para entornos industriales	9	Moderada, no es para aplicaciones industriales	5
Promedio		9,16		5,83

El tipo de sistema de automatización seleccionado es un controlador lógico programable (PLC), por su mayor aplicación dentro de la industria y su mayor capacidad de entradas y salidas a comparación del sistema arduino además de que es apto dentro de cualquier entorno laboral.

Una vez obtenido el tipo de controlador para la automatización de la destiladora se realizó una comparación de los tipos de PLC existentes dentro del taller de la FISEI-UTA como se detalla en la Tabla 22, donde se valuó aspectos de I/O (estradas/salidas),

precio, robustez, ámbito de trabajo y comunicación, con una ponderación del 1 al 10. Los modelos a evaluar son S7 – 1200 1214 dc/dc/dc Y V8 ac/dc/rly de LOGO.

Tabla 23. Selección de PLC

Característica	**LOGO**	**PLC**
Modelo	V8	S7 - 1200
Entradas	6	9
Salidas	5	10
Robustez	7	9
Precio	7	8
Comunicación	8	9
Promedio	6,6	9

El controlador lógico programable (PLC) seleccionado para la automatización y control en este proyecto es el S7-1200 DC/DC/DC como se muestra en la Figura 36, debido a que ofrece un mayor número de entradas y salidas en comparación con otros dispositivos. Este PLC es adecuado tanto para entornos laborales como para aplicaciones industriales.



Figura 37. PLC S7 - 1200

3.7.2 Tableros Eléctricos

En Ecuador, se emplea la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) para los tableros eléctricos, la cual se basa en las normas internacionales IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) y en el Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (NEC). Esta normativa establece los requisitos para la construcción, instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos en edificaciones, incluyendo los tableros eléctricos.

Siguiendo esta normativa se realiza la construcción del tablero eléctrico que se muestra en la Figura 37.



Figura 38. Tablero eléctrico de plástico

3.8 Diseño de la estructura

La Figura 38 muestra las destiladoras juntos con todos sus componentes. Este es una estructura básica de una máquina destiladora, con sus conexiones de cada uno de los componentes que la integran. El diseño junto con el material acero inoxidable y cobre brinda una mejor eficiencia para la destilación y la durabilidad de maquinaria.

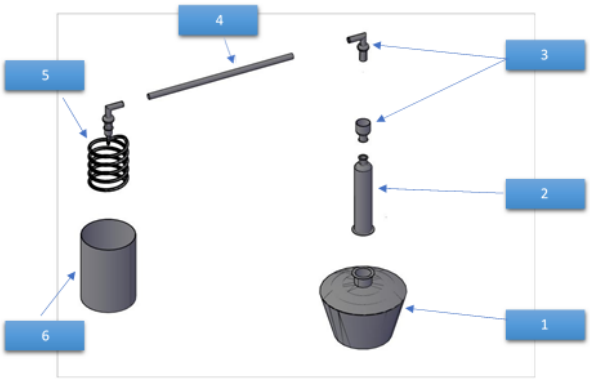


Figura 39. Máquina destiladora

En la Tabla 23 se detallan las partes que integran la destiladora con su enumeración correspondiente que van junto con la Figura.

Tabla 24. Partes de la destiladora

Número	Definición
1	Tanque de ebullición
2	Columna de destilación
3	Lente de condensación
4	Caída de vapor
5	Serpentín
6	Tanque refrigerante

3.9 Diagrama eléctrico

3.9.1 Diagrama de control eléctrico de entradas.

La Figura 39 ilustra la conexión y la alimentación de los diferentes controladores que supervisan la máquina de destilación. Este sistema ha sido diseñado conforme a la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), la cual se basa en las normas internacionales IEC y el Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (NEC).

En relación con los elementos, se realizó una selección de dispositivos de control que son robustos y adecuados para entornos industriales. Estos cumplen con las normas de seguridad y protección definidas por la NEC y las normas IEC correspondientes, además de los sensores elegidos para la automatización del sistema.

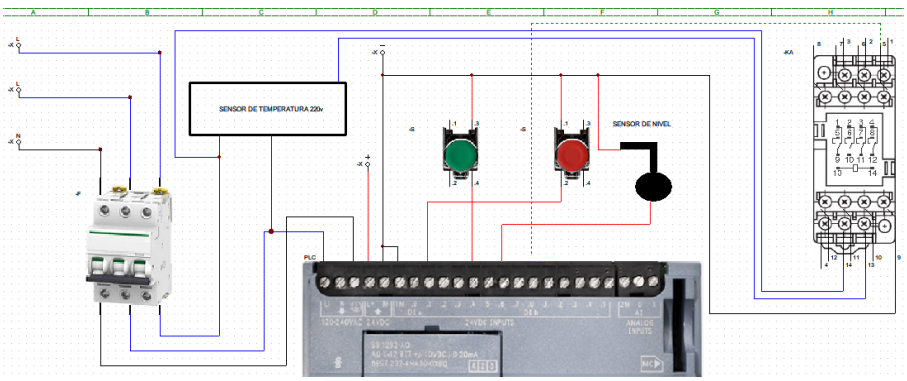


Figura 40. Conexión y entradas del PLC.

3.9.2 Diagrama de control eléctrico de salidas

El diagrama mostrado en la Figura 40 representa la configuración eléctrica de las salidas del controlador lógico programable (PLC). En este esquema, las salidas activan relés que funcionan como interruptores eléctricos. Las señales de salida del PLC permiten energizar o desenergizar los circuitos de los relés, los cuales están alimentados por una fuente de 24 V dc. De esta manera, se regulan en el suministro de energía a la unidad condensadora, bomba de agua y electroválvula, según las instrucciones programadas en el PLC.

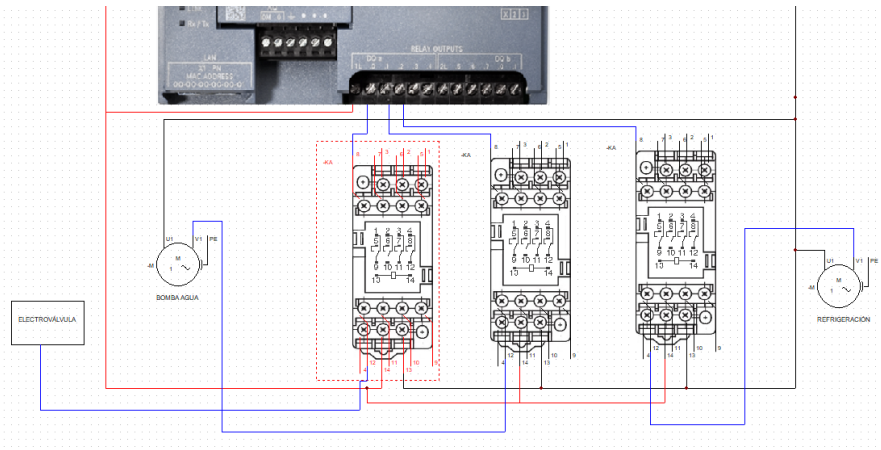


Figura 41. Circuito de salida

3.10 Programación de la máquina

Una de las grandes implementaciones dentro de la industria son los controladores lógicos programables PLC, puesto que ayudan a la eficiencia de producción. El PLC S7-1200 es muy utilizado dentro de la automatización de maquinaria, ya para este proyecto la utilización del mismo tendrá una gran utilidad, puesto que se podrá realizar la operación de manera automática mediante programación, y también de manera manual, ambos modos, se da dentro de los códigos en la pantalla de declaración de variables y programación del programa TIA PORTAL.

3.10.1 TIA PORTAL

El software TIA PORTAL nos ayuda con programación en código ya sea LD (Ladder), ST (Texto estructurado), FBD (Bloques de función), IL (lista de instrucciones), SFC (Diagramas de secuencia de control) para establecer un buen funcionamiento de la máquina destiladora. La versión utilizada para la programación es V16, que, debido a sus avanzadas funcionalidades, permite establecer parámetros necesarios para el desarrollo de distintos trabajos que involucran automatización mediante los controladores lógicos programables, brindando al operario de la maquinaria facilidad de operación, y eficiencia del control de sistemas automatizados.

En la Tabla se realizó una comparación que involucra los distintos tipos de programación evaluando facilidad de uno, legibilidad, eficiencia de ejecución con una ponderación del 1 al 10.

Tabla 25. Selección de lenguaje de programación

Características	**Ladder**	**ST**	**FBD**	**IL**	**SFC**
Facilidad de uso	9	6	8	5	7
Legibilidad	8	7	7	4	6
Flexibilidad	7	9	8	6	8
Eficiencia de ejecución	8	8	8	7	7
Promedio	8	7,5	7,75	5,5	7

El tipo de lenguaje idónea para realizar la programación de la máquina destiladora es en LADDER por su facilidad de uso y su flexibilidad de ejecución para tener un mayor control del sistema y el proceso de destilación.

a. Variables de programación

Para la automatización del presente proyecto se declararon variables tanto de entrada como de salida. En la Tabla 25 se declaran las variables de entrada, y la dirección del PLC asignada. Las entradas son de tipo booleano.

Tabla 26. Variables de entrada

Variables de entrada		
Nombre	**Dato**	**Dirección**
Marcha del sistema	bool	%I0.4
Parada del sistema	bool	%I0.1
Control de Temperatura	bool	%I1.0
Sensor de Nivel	bool	%I0.6

Así mismo se asignó variables de salida, que son los actuadores de nuestra máquina como se muestra en la Tabla 26 las cuales se expresan en forma booleana y que son energizados mediante relés. Estos relés son los encargados de suministrar energía a los actuadores de la destiladora.

Tabla 27. Variables de salida

Variables de salida		
Nombre	**Dato**	**Dirección**
Bomba de agua	bool	%Q0.0
Parada del sistema	bool	%Q0.1
Refrigeración	bool	%Q0.2

En la Tabla 27 se detalla las variables tipo marca en dato booleano, utilizadas para activación de actuadores, además existen marcas que funcionan para el interfaz hombre máquina HMI, permitiendo el control mediante dicha pantalla y una mejor eficiencia del proceso de destilación

Tabla 28. Variables tipo marca

Variables tipo marca		
Nombre	**Dato**	**Dirección**
Activación del sistema	bool	%M0.1
Inicio Sistema HMI	bool	%M0.2
Parada del istema HMI	bool	%M0.3
Parada refrigeración HMI	bool	%M0.4
Inicio refrigeración HMI	bool	%M0.5
Inicio bomba HMI	bool	%M0.6
Parada bomba HMI	bool	%M0.7
Marca activación de refrigeración	bool	%M10.0
Marca activación de la bomba por sensor	bool	%M10.5
Marca activación de bomba	bool	%M12.0

3.10.2 Líneas de programación

Con dichas variables establecidas, se realizó la programación, tomando en cuenta la activación total del sistema, y, en caso de emergencia, se implementó una parada de total, para que así todo el sistema se desactive y obtener un modo seguro del mismo como se muestra en el Segmento 1 de la Figura 41. Además, al activar el inicio del sistema establecida por la marca "%M0.1", permite el funcionamiento de la máquina, y de los actuadores como la bomba de agua, motor de refrigeración, electroválvula, y activación mediante pulsadores.

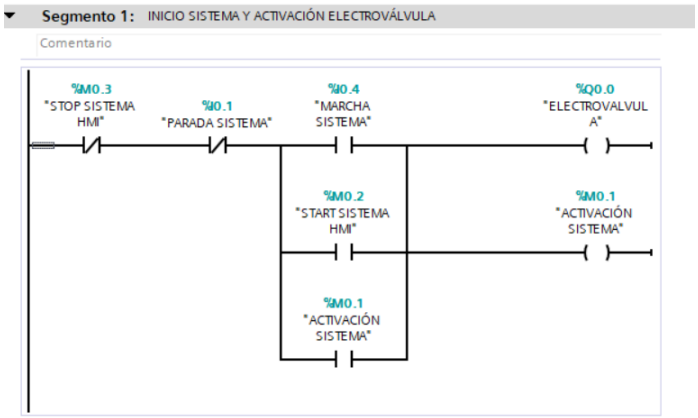


Figura 42. Línea de programación inicio y parada del sistema

En el segmento dos como se observa en la Figura 42, se verifica que se activó mediante la marca "M0.1" que da inicio al sistema, además existe una marca que genera señal para la activación del motor de refrigeración. Esta marca se activa mediante la acción de 0 a 1 del sensor de nivel, es decir al accionar el sensor de nivel tipo boya con la variable "I0.6", y al ser entrada, da señal a la salida "M10.0" que da paso de energía a la activación del motor de refrigeración, como se detalla en la Figura 35.

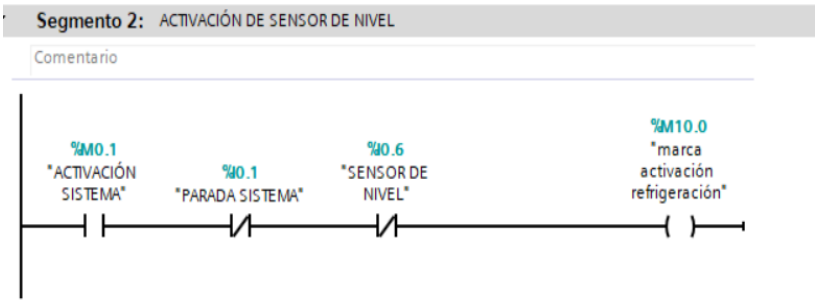


Figura 43. Línea de programación de activación de sensor de nivel

En el segmento 3 que se detalla en la Figura 43, se puede observar que, al ya tener activación del sistema, es esta línea la que, mediante el sensor de nivel, la marca de inicio de refrigeración mediante HMI da paso a la activación del motor de refrigeración.

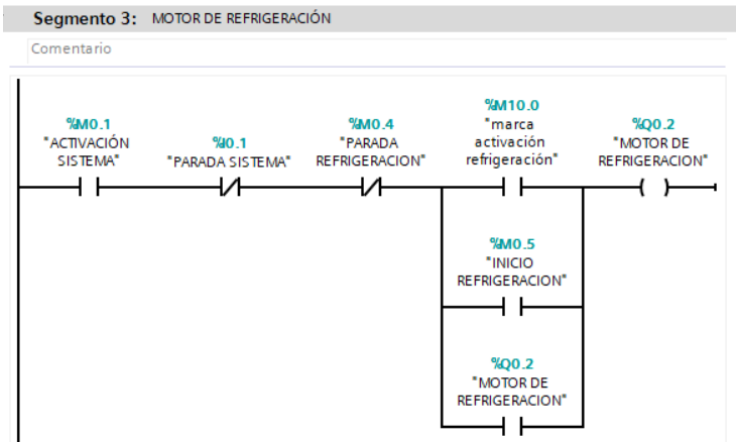


Figura 44. Línea e programación del motor de refrigeración

En la Figura 44 se observa la línea de programación que al igual que la línea de programación del sensor de nivel, se declaró la activación de una marca que da señal mediante el contacto del controlador de temperatura, que luego de paso de energía a la entrada “I1.0” que al activarse genera señal a la marca “M10.5”, la misma, cierra contacto en el siguiente segmento para encender la bomba de agua.

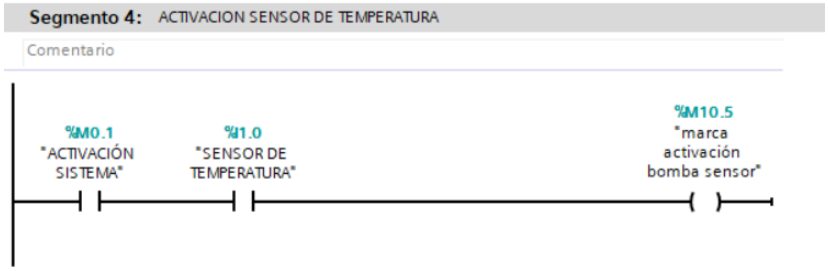


Figura 45. Línea de activación de la marca de activación del sensor

Para complementar el proceso de distribución de agua, se programó un segmento que permitió la activación mediante HMI, está línea también activa una segunda marca que es la que activó la bomba de agua, así como también se le declaró la desactivación de la misma, como se observa en la Figura 45.

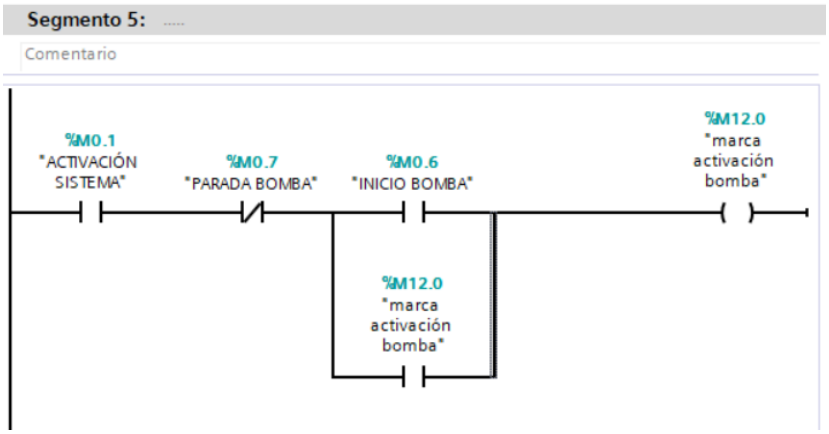


Figura 46. Activación y desactivación de motor mediante HMI

Como última línea de programación se estableció los contactos tanto abiertos como cerrados, para activar o desactivar la bomba de agua que sirve para el proceso de refrigeración del condensador, como se observa en la Figura 46 el sensor de temperatura es el encargado de cerrar contacto dando paso a la marca de activación de bomba, “Q0.1”.

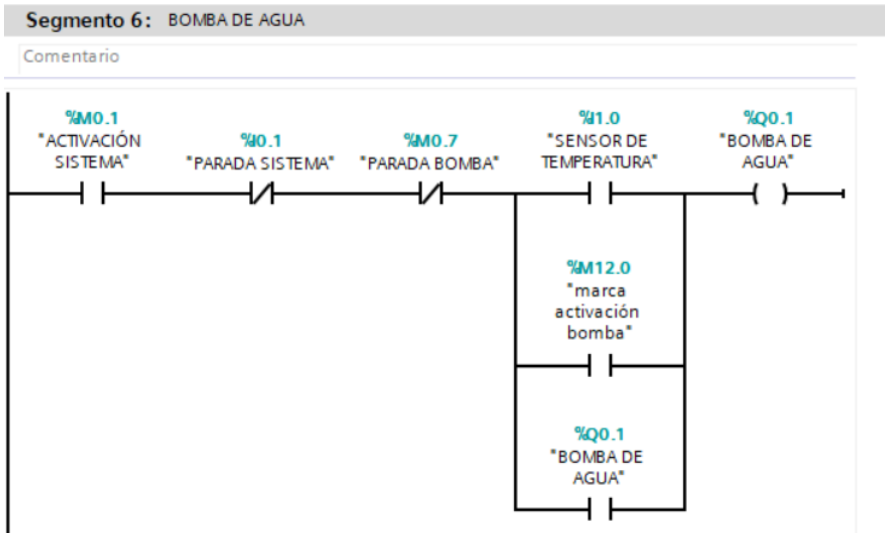


Figura 47. Línea de programación de la bomba de agua.

Es así como se estableció las 6 líneas de programación que van a dar un correcto funcionamiento a la máquina de destilación mediante PLC, se estableció un manejo automático así también como un manejo manual, es decir se puede dar acción tanto a la bomba de agua y al motor de refrigeración de manera que el PLC lo haga al activarse los sensores, o también directamente con interacción del control del HMI para encender o apagar dichos actuadores.

3.11 Pantalla HMI

El sistema de interacción mediante el interfaz hombre máquina HMI se lo realizó en la versión virtual mediante el software de programación de PLC de la marca Siemens, TIA PORTAL 16V. Este sistema virtual es conectado mediante cable ethernet al PLC utilizado para este proyecto de investigación, un PLC S7 – 1200 1214 DC/DC/DC. Dicho interfaz virtual da paso a la acción manual entre el operario y la maquinaria, dando acceso al encendido y apagado de los actuadores, así también como la activación del sistema y la parada de emergencia, en caso de que exista un problema en el mismo, y que el operario tenga una acción segura sobre la máquina.

En la Figura 47 se verifica la comunicación que establece desde el PLC físico hacía el HMI virtual, y que, mediante las líneas de programación, junto con las variables de establecidas, puede tener control sobre la máquina física.

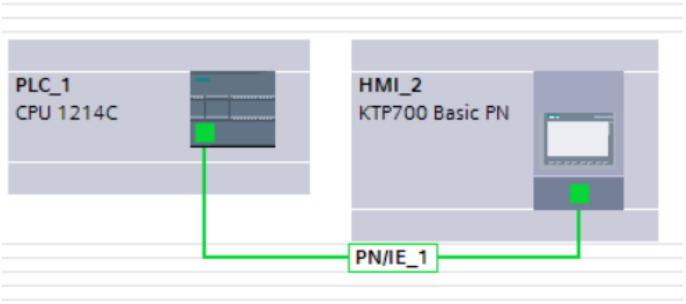


Figura 48. Comunicación PLC – HMI virtual

3.11.1 Consideraciones para elaborar el diseño de la pantalla HMI

Basándose en la norma IEC 60073 que establece los lineamientos para interfaces, establece una visualización ergonómica y eficiente, evitando colores que causen fatiga visual durante un prolongado uso, es decir evitar colores brillantes y optar por una gama que sea cómoda para el uso del operario. En la Tabla 28 se detallan los colores que establece la norma IEC 60073 para la elaboración de pantallas HMI.

Tabla 29. Colores permitidos en HMI en la norma IEC 60073

ELEMENTO	**ASPECTO**	**COLOR**
Fondo de Pantalla		
Fondo de pantalla principal	Gris	
Fondo de pantalla secundaria		
Elementos de la pantalla		
Botón de encendido	Gris	
Boton de apagado		
Botón Regreso, Activación de actuadores	Plomo	
Verificación de acción	Verde	
Verificación de parada	Rojo	
Texto en general		
Texto	Negro	

Se rigió a la normativa detallada en la Tabla 28 para la elección de colores para poder elaborar el interfaz hombre máquina virtual, para esto se estableció una pantalla principal y una pantalla secundaria para el ingreso al sistema y control de este respectivamente.

3.11.2 Pantalla Principal HMI

Una vez ya que se realizó la programación se procedió a la elaboración de la pantalla principal del HMI para ingresar al control del sistema, utilizando las herramientas que nos ofrece el software TIA PORTAL versión 16. Esta pantalla es una visualización primaria del sistema, dando énfasis al tipo de máquina que se está controlando así también como el nombre de la máquina establecido por el estudiante a cargo de este proyecto de investigación, tal como se muestra en la Figura 48.



Figura 49. Pantalla principal HMI

3.11.3 Pantalla Secundaria HMI

Dentro de la segunda pantalla del interfaz hombre máquina, se estableció botones de acción y desactivación del sistema, así también como el control de los actuadores tanto como el motor de refrigeración y la bomba de agua, esto da paso al manejo manual y control del sistema. Esta interacción es útil y fácil de usar para el operario a cargo de la máquina, además cumple con la norma en la gama de colores permitidas dentro de la elaboración tal y como se detalla en la Figura 49. Además, contiene un indicador de funcionamiento de la máquina y de parada.

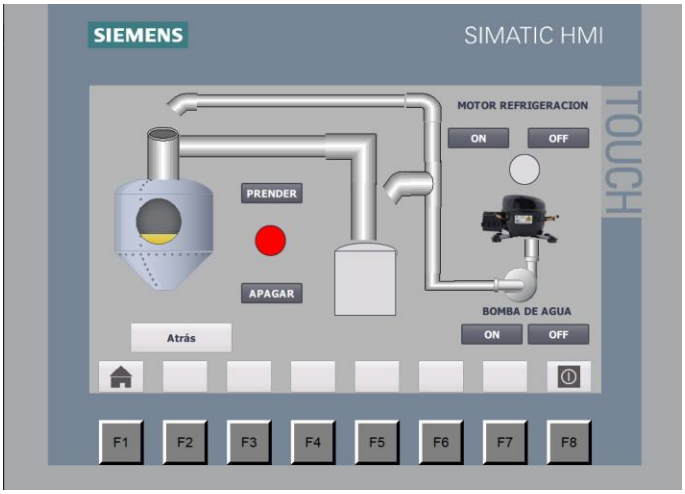


Figura 50. Pantalla secundaria HMI

3.12 Análisis de temperatura y producto

Mediante la automatización asignada por el control de temperatura, se asignó los rangos, estableciendo 60°C generadas por el vapor al calentar agua del condensador y así activando la bomba, permitiendo trasladar el agua refrigerada hasta el tanque de condensación hasta que llegue a los 30°C, en este valor de temperatura se apaga la bomba de agua. Este ciclo de recirculación de agua se realizó de manera automática durante todo el proceso de destilación, manteniendo así el tanque de condensación con una temperatura adecuada.

Al iniciar el proceso de destilación, el sistema empieza con una temperatura de refrigerante de 22,2 °C como se muestra en la Figura 50.



Figura 51. Temperatura de condensador, inicio de sistema.

Se realizaron dos pruebas donde interviene el sistema de recirculación de agua y la temperatura a la que llega el agua dentro del condensador en el proceso de destilación. Además del producto que se obtuvo (licor de caña) se midió su grado alcohólico en cada una de las pruebas realizadas con un alcohómetro Gay Lussac como se muestra en la Figura 51.



Figura 52. Alcohómetro Gay Luusac

3.12.1 Primera Destilación

La primera prueba se la realizo con 10 litros de materia prima, es decir guarapo, dentro del tanque de ebullición, teniendo una duración de 90 minutos

Como resultado de esta primera destilación, arrojaron valores de temperatura como se muestra en la Tabla 29, donde se detalla a que temperatura de agua del tanque condensador activa la bomba de agua, con que temperatura entra el agua desde el tanque de refrigeración hasta el tanque de condensación, y con qué temperatura queda el agua del tanque de condensación después de la llegada de agua fría. Este proceso durante esta destilación se acciono 10 veces, con distintos valores de temperatura obtenidos.

Tabla 30. Temperaturas obtenidas en el tanque de condensación

Tiempo de activación de bomba mediante sensor de temperatura durante la destilación				
Activación	**Tiempo**	**Temperatura de activación**	**Temperatura despues de activación**	**Temperatura de agua de ingreso**
Primera	48 min	60°C	17,7 °C	14 °C
Segunda	53 min	60°C	17,8°C	14,1 °C
Tercera	58 min	60°C	20°C	14,4°C
Cuarta	62min	60°C	20,03°C	14,5°C
Quinta	66 min	60°C	21, 3°C	14,57°C
Sexta	70 min	60°C	22°C	14,7 °C
Séptima	74 min	60°C	22°C	15,3 °C
Octava	78 min	60°C	22,2°C	15,7°C
Novena	83 min	60°C	22,7 °C	15,8°C
Decima	87 min	60°C	22,4°C	15,5°C

Mediante la activación de la bomba mantendremos el tanque de condensación a una temperatura que permita que el vapor que llega desde el tanque de ebullición sea condensado en el serpentín hasta obtener el producto final. El producto final que se obtuvo está compuesto por 3 parámetros: cabeza, corazón y cola. La cabeza se obtiene en las primeras gotas de destilación de la ebullición del guarapo, el corazón es el destilado constante que se obtiene durante gran parte de la destilación, y las colas son las gotas finales de destilación, estas se rechazan del producto obtenido, pero puede servir como materia prima para la siguiente destilación. En la Tabla 30 se detallan en que tiempo se obtiene las partes de la destilación.

Tabla 31. Tiempos de destilación

DESTILACIÓN 1		
Descripción	**Tiempo (min)**	**Tipo**
Primeras Gotas de destilación	44 min	Cabezas
Duración de destilación a partir de las primeras gotas	83 min	Corazón
Últimas gotas de destilación	90 min	Colas

El total de la primera prueba de destilación fue una total de 1,6 litros siendo este el 16% del total de 10 litros ingresado al tanque de ebullición, así como se observa en la Figura 52.



Figura 53. Alcohol obtenido del primer destilado

Los grados obtenidos de los componentes de destilación, tanto de cabeza, corazón y cola, se detallan en la Tabla 31. El grado alcohólico de cada uno de estos componentes se obtuvo mediante medición precisa, realizada con la ayuda de un alcohómetro. Este instrumento permite determinar el contenido de alcohol en las diferentes fracciones de la destilación, asegurando así la precisión en la caracterización de cada una de ellas. La medición cuidadosa y detallada de los grados alcohólicos es crucial para comprender las propiedades de cada fracción y garantizar la calidad del producto final. Los grados medidos se pueden observar en las Figuras 53, 54 y 55.

Tabla 32. Grados alcohólicos de la primera destilación

Grados alcohólicos primer destilado		
Cabeza	73%	Este es el porcentaje de las primeras gotas de destilación, que vienen con mayor grado alcohólico
Corazón	55%	Este valor obtenido resulta ser el porcentaje del alcohol
Cola	23%	Las ultimas gotas de destilación siempre tiene un valor inferior en porcentaje de alcohol



Figura 54. Medición de cabeza primera destilación

El grado alcohólico demostrado en la Figura 54 representa la primera parte de la destilación o cabeza, en el que se obtuvo un valor de 73% que se encuentra en el rango que establece la Tabla 2.



Figura 55. Medición de corazón primera destilación.

El grado alcohólico demostrado en la Figura 55 representa la destilación obtenida en el proceso o corazón, en el que se obtuvo un valor de 55% que se encuentra en el rango que establece la Tabla 2.

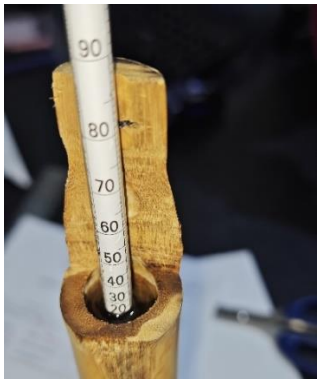


Figura 56. Medición colas primera destilación

El grado alcohólico demostrado en la Figura 56 representa las últimas gotas obtenida en el proceso de destilación o colas, en el que se obtuvo un valor de 23% que se encuentra en el rango que establece la Tabla 2.

3.12.1 Segunda Destilación

La segunda prueba se la realizo con 20 litros de guarapo, dentro del tanque de al igual que la primera destilación con una duración de 130 minutos, se tomaron valores de temperatura dentro del tanque de condensación durante el proceso de destilación, donde se obtuvo valores similares en temperaturas desde el sistema de refrigeración, hasta el tanque de condensación, así como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 33. Temperaturas obtenidas, segunda destilación

Tiempo de activación de bomba mediante sensor de temperatura durante la destilación				
Activación	Tiempo minutos	Temperatura de activación	Temperatura despues de activación	Temperatura de agua de ingreso
Primera	57	60°C	17,7 °C	14 °C
Segunda	62	60°C	17,8°C	14,1 °C
Tercera	67	60°C	20°C	14,4°C
Cuarta	71	60°C	20,03°C	14,5°C
Quinta	75	60°C	21, 3°C	14,57°C
Sexta	79	60°C	22°C	14,7 °C
Séptima	83	60°C	22°C	15,3 °C
Octava	87	60°C	22,2°C	15,7°C
Novena	91	60°C	22,7 °C	15,8°C

Décima	95	60°C	22,4°C	15,5°C
Onceava	99	60°C	22,5°C	15,5°C
Doceava	103	60°C	22,8°C	15,5°C
Treceava	107	60°C	22,7°C	15,5°C
Catorceava	111	60°C	22,5°C	15,5°C
Quinceava	115	60°C	22,7°C	15,5°C
Dieciseisava	119	60°C	22,4°C	15,5°C
Diecisieteava	123	60°C	22,8°C	15,5°C
Dieciochoava	127	60°C	22,4°C	15,5°C

En la Tabla 33 se verifican los tiempos para obtención de los 3 componentes de destilación, al tener más cantidad de litro en materia prima que ingresó al tanque de ebullición, el tiempo de destilación es mayor al primero, así mismo la obtención de las primeras gotas de alcohol.

Tabla 34. Tiempos segunda destilación

DESTILACIÓN 2		
Descripción	**Tiempo (min)**	**Tipo**
Primeras Gotas de destilación	52 min	Cabezas
Duración de destilación a partir de las primeras gotas	123 min	Corazón
Últimas gotas de destilación	130 min	Colas

En total de destilación se obtuvo 3,3 litros, así como se muestra en la Figura 57. Se obtuvo un 17% del total de guarapo dentro del tanque de ebullición, muy similar a la primera destilación.



Figura 57. Alcohol obtenido segundo destilado

Con el mismo alcohómetro se procedió a la medición de cada uno de los componentes de alcohol obtenido, obteniendo valores que se muestran en la Tabla 34, y las pruebas de los resultados en las Figuras 57, 58 y 59.

Tabla 35. Grados alcohólicos segunda destilación

Grados alcohólicos segundo destilado		
Cabeza	77%	Este es el porcentaje de las primeras gotas de destilación, que vienen con mayor grado alcohólico
Corazón	63%	Este valor obtenido resulta ser el porcentaje del alcohol
Cola	32%	Las ultimas gotas de destilación siempre tiene un valor inferior en porcentaje de alcohol



Figura 58. Medición de colas segunda destilación

El grado alcohólico demostrado en la Figura 60 representa las últimas gotas obtenida en el proceso de destilación o colas, en el que se obtuvo un valor de 23% que se encuentra en el rango que establece la Tabla 2.



Figura 59. Medición de porcentaje obtenido, segunda destilación

El grado alcohólico demostrado en la Figura 59 representa la segunda destilación obtenida en el proceso o corazón, en el que se obtuvo un valor de 32% que se encuentra en el rango que establece la Tabla 2.



Figura 60. Medición de ultimas gotas, segunda destilación.

El grado alcohólico demostrado en la Figura 58 representa la primera parte de la segunda destilación o cabeza, en el que se obtuvo un valor de 77% que se encuentra en el rango que establece la Tabla 2.

3.12.2 Análisis comparativo del producto obtenido

Una vez realizada las pruebas se obtuvieron valores significativos que ayudan a verificar el funcionamiento de esta máquina en estudio, además de que, a través de la investigación, dicha máquina puede realizar la destilación de manera eficaz, se procedió a hacer un análisis del producto obtenido en ambas pruebas. En la tabla 35 se detallan los valores obtenidos.

Tabla 36. Tabla comparativa de los productos obtenidos

ALCOHOL OBTENIDO		
Detalle	**Primera Destilación**	**Segunda Destilación**
Tiempo (min)	90	130
Cantidad de Alcohol (litros)	1,6	3,3
Cantidad de Guarapo ingresado	10 litros	20 litros
Porcentaje de alcohol obtenido	16%	17%
Grado alcohólico obtenido	55°	63°

Lo detallado es una comparación detallada entre los valores obtenidos del producto total ingresado en el primer y segundo destilado, destacando varios aspectos clave del

proceso. El tiempo total de obtención del producto muestra una diferencia significativa, con 90 minutos para la primera destilación y 130 minutos para la segunda. Esta diferencia en el tiempo puede atribuirse a la necesidad de una destilación más cuidadosa y prolongada en la segunda etapa para mejorar la pureza del alcohol obtenido. Además, la cantidad de alcohol producido casi se duplica en la segunda destilación, pasando de 1,6 litros a 3,3 litros, lo cual indica una mayor eficiencia y rendimiento en la extracción del alcohol en esta etapa. Como se observa en la comparación de la Figura 61, detallando que la primera destilación (azul) es menor a la segunda destilación (naranja).

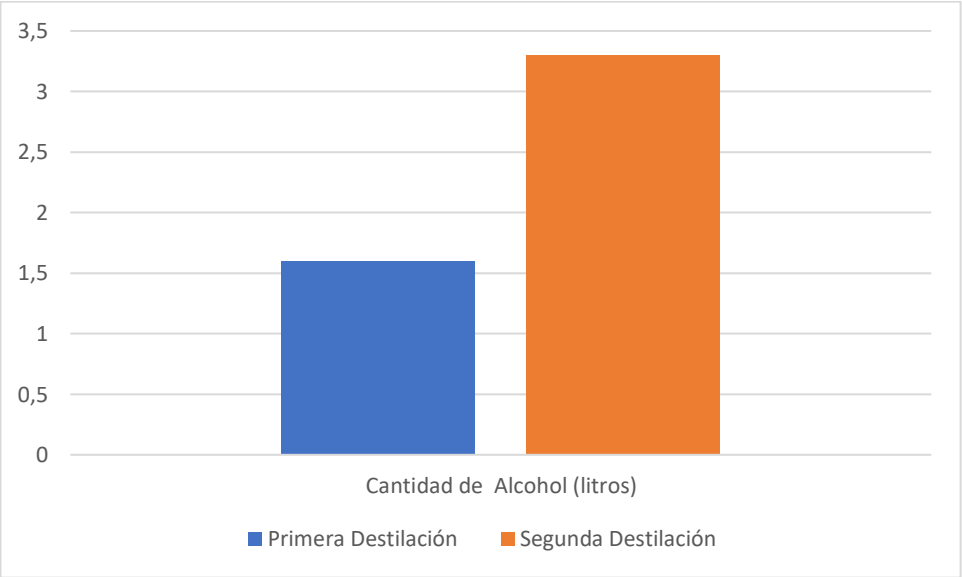


Figura 61. Alcohol obtenido primera vs segunda destilación

Otro aspecto notable es la cantidad de guarapo ingresado en cada destilación. En la primera destilación, se ingresaron 10 litros de guarapo, mientras que, en la segunda, se duplicó la cantidad a 20 litros. A pesar de esta diferencia en el volumen inicial, el porcentaje de alcohol obtenido se mantiene relativamente constante, con un 16% en la primera destilación y un 17% en la segunda. Esta consistencia en el porcentaje de rendimiento sugiere que el proceso de destilación es eficaz en ambas etapas, aunque la mayor cantidad de guarapo y el tiempo adicional en la segunda destilación permiten una recuperación más significativa del alcohol. En la Figura 62 se verifica que a pesar de ser un cambio significativo en la cantidad de guarapo a destilar, es porcentaje se

encuentra en una variación de 1% en respecto de la primera destilación (azul) a la segunda destilación (naranja).

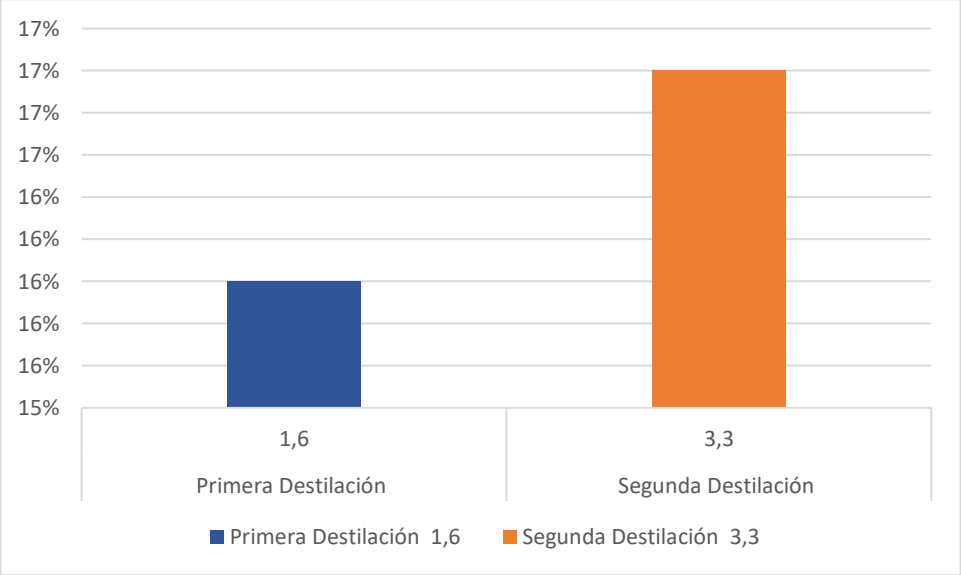


Figura 62. Porcentajes primera destilación vs segunda destilación

Finalmente, el grado alcohólico obtenido en ambas pruebas refleja un aumento considerable en la pureza del producto final. La primera destilación produce un alcohol con un grado alcohólico de 55°, mientras que la segunda destilación alcanza un grado alcohólico de 63°. Este incremento en el grado alcohólico es crucial para asegurar la calidad del licor, ya que un mayor grado alcohólico indica una menor presencia de impurezas y una mejor separación de los componentes no deseados. Es importante destacar que continuar destilando más allá de la obtención de las colas puede resultar en una disminución del grado alcohólico y, por ende, en una reducción de la calidad del licor. Por lo tanto, el proceso debe ser cuidadosamente monitoreado para asegurar que se obtiene un producto de alta calidad dentro del rango deseado.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La investigación de los procesos que intervienen dentro de la destilación, ha demostrado su gran importancia, puesto que la separación de componentes dentro de una misma solución a diferentes puntos de ebullición es esencial dentro de grandes campos industriales, como el alimenticio, que ha utilizado esta técnica para elaborar varios productos de consumo humano.

- Al implementar mecanismos automatizados dentro de la máquina de destilación se establece un sistema que brinda eficiencia y es amigable con el medio ambiente en la utilización de recursos como el agua, dando una precisión de reproceso de agua cuando este sea necesario, disminuyendo un impacto ambiental, errores humanos y costos de producción, mediante su monitoreo en tiempo real.

- Mediante pruebas de funcionamiento damos una eficiencia de condensación a la máquina por su implementación de redistribución y enfriamiento de agua, teniendo una temperatura deseada en el proceso de máximo 60°C del condensador, y una temperatura de ingreso de hasta 16°C desde el tanque de refrigeración, en un lapso de tiempo de 4 a 5 minutos como máximo para la distribución de agua fría hacia el tanque condensador, y manteniendo hasta una temperatura de 20°C después de haber sido activada la bomba de agua.

- En la construcción de la maquinaria se optó por materiales que fueran ideales y con una buena conducción de temperatura como es el cobre y el acero inoxidable, para así tener un mejor funcionamiento de la máquina y a su vez una mejor eficiencia a la hora de obtener el producto destilado.

- La implementación de un HMI en la máquina, nos permitió una mejor interacción con la automatización del proceso de destilación y un mejor control manual del mismo.

4.2 Recomendaciones

- Tras pruebas realizadas y un análisis profundo de los hallazgos en el proceso de destilación, es precepto implementar un sistema más elaborado de caldera para mejorar su tiempo de producción, y optimizar este recurso hasta tener un valor ideal en la cantidad de tiempo

- Se recomienda profundizar en las distintas técnicas de destilación para la obtención de un producto con más pureza y mayor grado alcohólico desde su primer destilado, técnicas permiten una separación más eficiente de los componentes volátiles, eliminando impurezas y optimizando el rendimiento del proceso. Además, la implementación de equipos de alta precisión y el control riguroso de variables como la temperatura en la caldera y la presión que esta ejerce en el tanque de ebullición.

- Dado el potencial de la máquina de elaborar alcohol a partir de fermentado de caña, se recomienda la implementación de instrumentación de medida interna ya sea cantidad de producto y grado alcohólico obtenido, para así tener un sistema de destilación más controlado enfocado en el producto y la rentabilidad del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] "Destilación by Yolimar Fernández - Issuu." Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://issuu.com/yoly10/docs/tema_2._destilacion

[2] "Automatización. - EcuRed." Accessed: May 29, 2024. [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Automatizaci%C3%B3n.

[3] "Electrónica Industrial." Accessed: May 29, 2024. [Online]. Available: http://eet602ei.blogspot.com/2012/05/sistemas-de-control-lazo-abiertocerrado.html.

[4] S. Juan and M. Alberto Perez Ing Analía Perez Hidalgo Bioing Elisa Perez Berenguer, "Universidad Nacional de 'INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO.'".

[5] "PROGRAMA INTEGRAL DE PRODUCTOS Y SERVICIOS".

[6] H. Martínez, "Modulo didáctico para prácticas de laboratorio con controladores lógicos programables," 2015.

[7] G. Chango, P. Cèsar, L. Chango, and J. Alberto, "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE TECNÓLOGOS DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL POR DIFERENCIAL DE PRESION. PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO," 2009.

[8] J.-F. Dulhoste, "Introducción al Control de Procesos para Ingenieros".

[9] L. Vazquez, "Instrumentación industrial, 8va Edición Antonio Creus Solé FREELIBROS.ORG." Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://www.academia.edu/32226741/Instrumentaci%C3%B3n_industrial_8va_Edici%C3%B3n_Antonio_Creus_Sol%C3%A9_FREELIBROS_ORG

[10] "¿Qué es la Destilación? - Laboratorio Químico." Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-%20laboratorio/que-es-la-destilacion.html

[11] “La Destilación | Irene González Ramírez.” Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://irenegonzalezr.wordpress.com/2012/06/07/la-destilacion-2/

[12] “La Volatilidad Desde El Punto de Vista Químico | Descargar gratis PDF | Humedad | Destilación.” Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/346183963/La-Volatilidad-Desde-El-Punto-de-Vista-Quimico

[13] “Destilación - Concepto, tipos y ejemplos,” *https://concepto.de/*, Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://concepto.de/destilacion/

[14] “~ Procesos Industriales.” Accessed: May 30, 2024. [Online]. Available: https://proindusitriales.blogspot.com/2013/05/destilacion-la-destilacion-es-un.html.

[15] “Fermentación alcohólica”.

[16] M. Mora Torres, “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA INTOXICACIÓN ALCOHÓLICA RESUMEN,” vol. 33, no. 2, 2016.

[17] I. Francisco Cabrera Diaz ACREDITADOR Ing Norman Andres Serrano, “UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD BEBIDAS FERMENTADAS”.

[18] “2. Propiedades del acero inoxidable”.

[19] “Manual Técnico Nacobre”.

[20] “Impulsión de Aguas Residuales: Bombas para la Impulsión de Aguas Residuales”.

[21] I. DE Tecnologico Minatitlan, “UNIDAD 1 PRINCIPIOS DE REFRIGERACION INGENIERIA ELECTROMECANICA”.

[22] T. Tom®, “Un plástico con propiedades insuperables TECNOLOGÍA • 2•”.

[23] “Electroválvulas VZWP, servopilotadas”, Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: www.festo.com/catalogue/...

[24] R. Kant, R. Mittal, C. Kumar, B. S. Rana, M. Kumar, and R. Kumar, “Fabrication and Characterization of Weldments AISI 304 and AISI 316 Used in Industrial Applications,” *Mater Today Proc*, vol. 5, no. 9, pp. 18475–18481, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.MATPR.2018.06.189.

[25] “Pressure Vessels-Unidad 1 Vision General codigo Asme Secc VIII , div 1”, Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: http://es.scribd.com/doc/283917881/Megyesy-Manual-de-Recipientes-a-Presion-Diseno-y-

[26] “Página no encontrada - DIPAC.” Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: http://dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi

[27] “Tipos de tuberías plásticas, diferencias y sus usos | Foncal.” Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: https://foncal.es/tipos-de-tuberias-plasticas-diferencias-y-sus-usos/

[28] “Tubo PVC de Presión Roscable PLASTIGAMA - Proferret.” Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: https://proferret.com.ec/producto/tubo-pvc-de-presion-roscable-plastigama/?v=3fd6b696867d

[29] “Así funciona el encendido eléctrico de la cocina - OneOcean Club.” Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: https://oneoceanclub.es/asi-funciona-el-encendido-electrico-de-la-cocina/#google_vignette

[30] N. Ecuatoriana and C. De La, “NEC”.

[31] “NTE INEN 1682: Reguladores de baja presión para gas licuado de petróleo (GLP). Requisitos e inspección : Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive.” Accessed: Jun. 08, 2024. [Online]. Available: https://archive.org/details/ec.nte.1682.1998/page/n2/mode/1up

ANEXO A

Anexo 1. Datasheet PLC

Data sheet **6ES7214-1AG40-0XB0**

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC; Power supply: DC 20.4-28.8V DC, Program/data memory 100 KB



Figure similar

General information	
Product type designation	CPU 1214C DC/DC/DC
Firmware version	V4.5
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V17 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Load voltage L+	
• Rated value (DC)	24 V
• permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
• permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	500 mA; CPU only
Current consumption, max.	1 500 mA; CPU with all expansion modules
Inrush current, max.	12 A; at 28.8 V
I^2t	0.5 A^2s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
• 24 V	L+ minus 4 V DC min.
Power loss	
Power loss, typ.	12 W
Memory	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes
CPU processing times	

Subject to change without notice
© Copyright Siemens

Anexo 2. Ficha técnica motor de refrigeración

COMPRESSOR DEFINITION

Designation	**NE K6214Z**
Nominal Voltage/Frequency	**220-240 V 50 Hz**
Engineering Number	**269JA51**

A - APPLICATION / LIMIT WORKING CONDITIONS

1 Type	Hermetic reciprocating compressor		
2 Refrigerant	R-134a		
3 Nominal voltage and frequency	220-240 / 50	[V / Hz]	
4 Application type	High Back Pressure (Commercial Compressors)		
4.1 Evaporating temperature range	-15°C to 10°C	(5°F to 50°F)	
5 Motor type	CSIR		
6 Starting torque	HST - Hight starting torque		
7 Expantion device	Capillary tube or Expansion valve		
8 Compressor cooling		Operating voltage range	
		50 Hz	60 Hz
8.1 LBP (32°C Ambient temperature)	-	-	-
8.2 LBP (43°C Ambient temperature)	-	-	-
8.3 HBP (32°C Ambient temperature)	-	-	-
8.4 HBP (43°C Ambient temperature)	-	-	-
9 Maximum condensing pressures/temperature			
9.1 Operating (gauge)	16.2	[kgf/cm²] (230 psig)	/ °C - °F
9.2 Peak (gauge)	20.6	[kgf/cm²] (293 psig)	/ °C - °F
10 Maximum winding temperature	130	[°C]	

B - MECHANICAL DATA

1 Commercial designation	1/2	[hp]
2 Displacement	16.80	[cm³] (1.025 cu.in)
2.1 Bore [mm]	31.190	
2.2 Stroke [mm]	22.000	
3 Lubricant charge	350	[ml] (11.84 fl.oz.)
3.1 Lubricants approved		
3.2 Lubricants type/viscosity	ESTER / ISO22	
4 Weight (with oil charge)	11.6	[kg] (25.57 lb.)
5 Nitrogen charge	0.2 to 0.3	[kgf/cm²] (2.84 to 4.27 psig)

Anexo 3. Ficha técnica bomba de agua

ELECTROBOMBAS PERIFÉRICAS

CARACTERÍSTICAS - BOMBA
- Cuerpo de bomba en hierro fundido, con tratamiento especial anti-corrosión y bocas roscadas.
- Impulsor de bronce.
- Inserto de laton que evita la formación de óxido asegurando el NO bloqueo del impulsor luego de un largo periodo de inactividad de la bomba
- Eje en acero inoxidable AISI 304
- Temperatura max. del liquido: +60°C
- Max. aspiración: +6 m



CARACTERÍSTICAS - MOTOR
- Bobinado del motor en cobre
- Protección térmica en motor monofásico
- Aislación Clase: F
- Protección Clase: IPX4
- Temperatura ambiente max.: +40°C



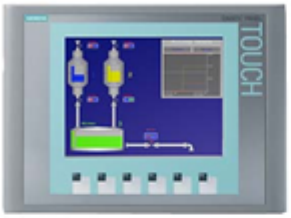
APLICACIONES
- Recomendadas para el bombeo de agua limpia, sin particulas abrasivas y liquidos quimicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.
- Aptas para uso doméstico e industrial, especialmente en sistemas automáticos de riego y pequeños equipos de presión.

CODIGO	MODELO	HP	TIPO	BOCAS	Q (m³/h)	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4
					Q (l/min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90
	APm37	0.5	MON	1" x 1"	H (m)	40	35	30	25	20	15	10	5	2					
	APm60	0.8	MON	1" x 1"		60	55	50	40	35	30	25	20	10	5				
	AP 60	0.8	TRI	1" x 1"		60	55	50	40	35	30	25	20	10	5				
	APm75	1	MON	1" x 1"		75	70	60	50	45	35	28	22	15	5				
	AP 75	1	TRI	1" x 1"		75	70	60	50	45	35	28	22	15	5				
	APm110	1.5	MON	1" x 1"		85	80	70	65	60	55	50	45	40	30	18	10		
	AP 110	1.5	TRI	1" x 1"		85	80	70	65	60	55	50	45	40	30	18	10		
	APm150	2	MON	1" x 1"		90	85	80	75	70	65	60	55	50	40	30	20	10	
	AP 150	2	TRI	1" x 1"		90	85	80	75	70	65	60	55	50	40	30	20	10	
	AP 220	3	TRI	1" x 1"		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10

Anexo 4. Datasheet HMI

Hoja de datos **6AV6647-0AD11-3AX0**

SIMATIC HMI KTP600 BASIC COLOR PN, BASIC PANEL, OPERACION TECLA/TACTIL, DISPLAY 6" TFT, 256 COLORES, INTERFAZ PROFINET, CONFIGURABLE DESDE WINCC FLEXIBLE 2008 SP2 COMPACT/ WINCC BASIC V10.5/ STEP7 BASIC V10.5, CONTIENE SW OPEN SOURCE ENTREGADO GRATUITAMENTE. VER CD ADJUNTO



Información general	
Designación del tipo de producto	SIMATIC HMI KTP600 Basic color PN
Display	
Tipo de display	TFT
Diagonal de pantalla	5,7 in
Achura del display	115,2 mm
Altura del display	86,4 mm
Nº de colores	256
Resolución (pixeles)	
• Resolución de imagen horizontal	320 Pixel
• Resolución de imagen vertical	240 Pixel
Retroiluminación	
• MTBF de la retroiluminación (con 25 °C)	50 000 h
• Retroiluminación variable	No
Elementos de mando	
Fuentes de teclado	
• Teclas de función	
— Nº de teclas de función	6

Sujeto a cambios
© Copyright Siemens AG

ANEXO B

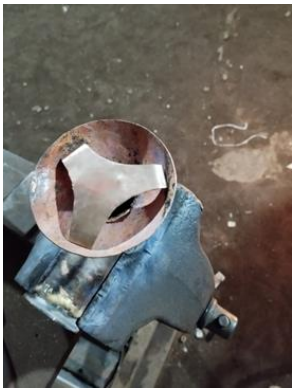
Anexo 5. Elaboración de serpentín de cobre



Anexo 6. Elaboración de tanque de ebullición y columna de destilación.



Anexo 7. Elaboración de primer condensador



Anexo 8. Módulo de encendido eléctrico de cocina.



ANEXO 2.

DESTILADORA AUROMATIZADA PARA EL PROCESO DE ALCOHOL DE CAÑA

Manual de Usuario

Versión: 0100

Fecha: 06/08/2024

[Primera Versión]

En este documento se detalla el funcionamiento de la destiladora automatizada para el proceso de obtención de alcohol de caña junto con sus elementos y el proceso a seguir para una correcta utilización

HOJA DE CONTROL

Organismo	Universidad Técnica de Ambato		
Proyecto	Destiladora automatizada para el proceso de alcohol de caña		
Entregable	Manual de Usuario		
Autor	Kevin Damián Carrillo Naranjo		
Versión/Edición	0100	**Fecha Versión**	01/08/2024
Aprobado por		**Fecha Aprobación**	06/08/2024
		Nº Total de Páginas	13

REGISTRO DE CAMBIOS

Versión	**Causa del Cambio**	**Responsable del Cambio**	**Fecha del Cambio**
0100	Versión inicial	Kevin Damián Carrillo Naranjo	01/08/2024

ÍNDICE

1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA 4
1.1 Objeto 4
1.2 Aplicación 4
2 ESTRUCTURA 5
2.1 Modelado y partes de la estructura 5
2.2 Sistema Eléctrico 6
2.3 Sistema de actuación 6
3 CIRCUITO DE CONTROL 8
3.1 Subsistema ELECTRICO 8
3.2 Subsistema PLC 8
3.2.1 Pantalla HMI 10
4 Guía de uso 11
4.1 Precauciones de seguridad 11
4.2 Fases de funcionamiento 12
5 LIMPIEZA 13
5.1 Precauciones de seguridad 13

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

4.3 Objeto

Este manual tiene como objetivo proporcionar al usuario las instrucciones necesarias para la correcta operación, y solución de problemas de la destiladora automatizada. Incluyendo procedimientos detallados para la puesta en marcha del sistema

4.4 Aplicación

El presente manual de procesos ´para la elaboración de destilados de caña, tiene como aplicación principal dar a conocer al usuario el funcionamiento de una maquina destiladora automatizada. Se brindará información sobre todo el proceso que conlleva la utilización para la elaboración del destilado.

- Estructura general de la destiladora.
- Sistema eléctrico
- Circuito de control
- Sistema de automatización.
- Fases de funcionamiento.

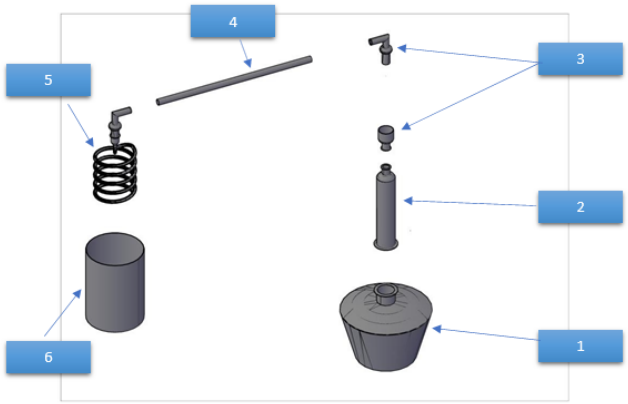
ESTRUCTURA

4.5 Modelado y partes de la estructura

La destiladora está elaborada con materiales como el acero inoxidable y cobre que son idóneos a la hora de puesta en marcha de la destilación, puesto que son buenos conductores de calor además que tienen resistencia a la corrosión y durabilidad de material.

Para la elaboración se rigió a la categorización AISI que está encargada de clasificar los tipos de acero en el mercado, obteniendo un acero en clasificación 304 siendo este el específico para la construcción de la destiladora.

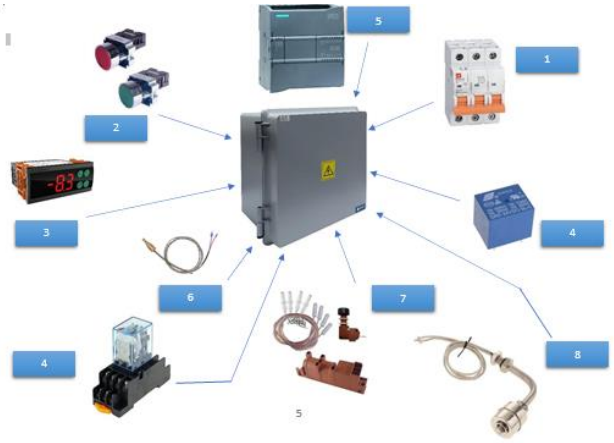
A continuación, se presenta el modelado de la máquina y el detalla de piezas.



Lista de partes mecánicas		
Número	**Nombre**	**Descripción**
1	Caldera - Tanque de ebullición	Tanque de ebullición de capacidad máximo de 55 litros, que se somete a temperaturas altas para la evaporización del producto a destilar.
2	Columna de destilación - Lente condensador	Instrumento que tiene como función transportar vapor durante la destilación y dándole una mínima condensación.
3		
4	Caída de vapor	Elemento de dirección entre columna de destilación y condensador final
5	Serpentín	Enfría el vapor que ingresa, mediante serpentín y agua fría.
6	Tanque de condensación	

4.6 Sistema Eléctrico

El sistema de conexión tiene funcionalidad de 110V de activación, dentro del tablero de control se implementó un disyuntor tripolar que da energía a todo el sistema. A continuación, se presenta un diagrama de los elementos que integran el tablero de control.



Lista de partes tablero eléctrico		
Número	Nombre	Descripción
1	Disyuntor	Elemento de protección
2	Pulsadores	Elementos de acción del sistema
3	Pantalla de Temperatura	Dispositivo de control y visualización de temperatura
4	Relés	dispositivo electromecánico utilizado para controlar un circuito eléctrico mediante una señal de bajo voltaje.
5	PLC	Dispositivo electrónico utilizado para la automatización de procesos
6	Sensor de Temperatura	Utilizado para el control de temperatura del sistema
7	Módulo de encendido eléctrico de quemador	Dispositivo utilizado para encender la caldera
8	Sensor de Nivel	Elemento de control de nivel dentro del sistema

4.7 Sistema de actuación

El sistema de actuación cuenta con una funcionalidad de activación a 110V. Dentro del sistema, se han implementado una unidad condensadora, una bomba de agua y una electroválvula. A

continuación, se presenta una tabla de los elementos que componen los actuadores.



Voltaje	115 V
Fase	Monofásico
Nivel de temperatura	Media Temperatura
Hp Fracciones	½ Hp
Peso	30 kg
Gas refrigerante	R-404



Especificaciones del motor	
Marca	Leo
Material	Cuerpo y soporte de hierro fundido antioxidante
Modelo	APM37N
Motor	0.5 HP - 0.37 kw
Alimentación	110 v – 220 v
Caudal	5 – 35 litros/min
Boca	Estrada y salida de 1 pulgada

Especificaciones Técnicas

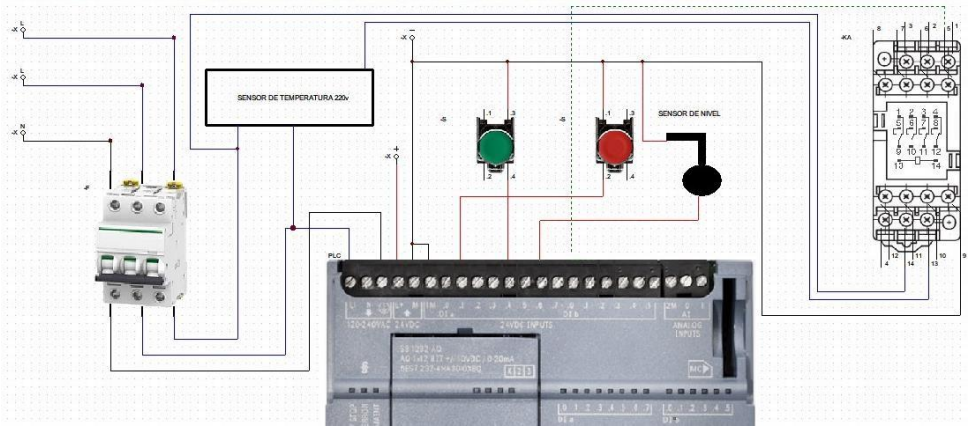
- Voltaje 110 VAC (60hz)
- Capacidad del tanque de ebullición 55,7 litros
- Temperatura de funcionamiento del condensador 30°C a 60°C
- Licor destilado 1L/h

- Peso neto 300 lb.

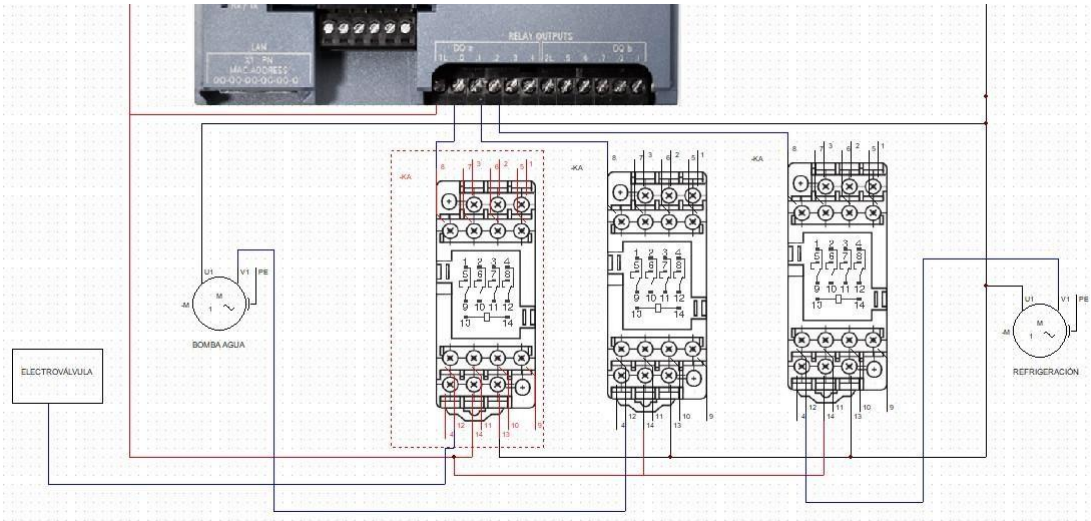
CIRCUITO DE CONTROL

4.8 Subsistema ELECTRICO

ENTRADAS



SALIDAS



4.9 Subsistema PLC

El controlador lógico programable (PLC) de automatización y control es un S7-1200 DC/DC/DC.

El tipo de lenguaje para realizar la programación de la máquina destiladora es en LADDER.

Las entradas, salidas y marcas asignadas a la programación en el software TIA PORTAL V16 se detallan a continuación.

Variables de entrada		
Nombre	**Dato**	**Dirección**
Marcha del sistema	bool	%I0.4
Parada del sistema	bool	%I0.1
Control de Temperatura	bool	%I1.0
Sensor de Nivel	bool	%I0.6

Variables de salida		
Nombre	**Dato**	**Dirección**
Bomba de agua	bool	%Q0.0
Parada del sistema	bool	%Q0.1
Refrigeración	bool	%Q0.2

Variables tipo marca		
Nombre	**Dato**	**Dirección**
Activación del sistema	bool	%M0.1
Inicio Sistema HMI	bool	%M0.2
Parada del istema HMI	bool	%M0.3
Parada refrigeración HMI	bool	%M0.4
Inicio refrigeración HMI	bool	%M0.5
Inicio bomba HMI	bool	%M0.6
Parada bomba HMI	bool	%M0.7
Marca activación de refrigeración	bool	%M10.0
Marca activación de la bomba por sensor	bool	%M10.5
Marca activación de bomba	bool	%M12.0

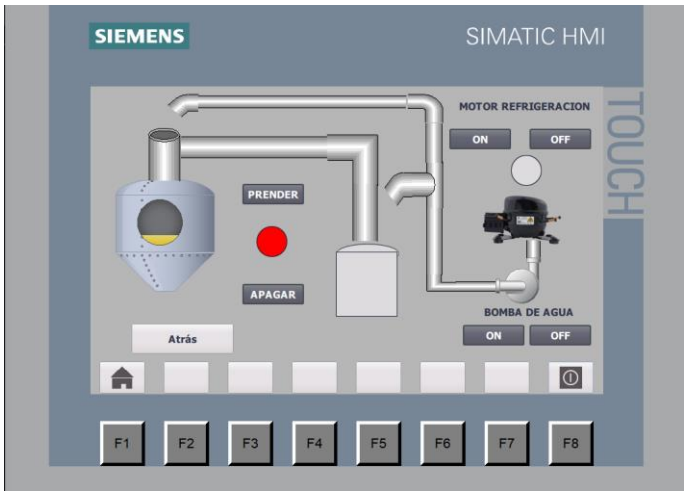
4.9.1 Pantalla HMI

El control manual con manejo del operario se realiza mediante la pantalla HMI, que contiene dos secciones:

Sección Principal



Sección Secundaria donde se maneja el control total de la máquina destiladora.



Mediante esta pantalla se realiza el encendido de motor de refrigeración y de la bomba de agua, es de fácil manipulación y uso del usuario.

4.10 Precauciones de seguridad

Tenga en cuenta las siguientes precauciones cuando utilice el producto:

- Solo para uso en interiores
- Se debe proporcionar una conexión a tierra efectiva para el equipo.
- Esta prohíbo realizar operaciones eléctricas con las manos húmedas o mojadas.
- Está prohibido limpiar el equipo cuando el equipo está recibiendo alimentación energética. La fuente de alimentación debe desenchufarse.
- El equipo debe instalarse en una zona estable.
- El equipo debe colocarse lejos del alcance de niños.
- El dispositivo de suministro de energía debe proporcionar un funcionamiento seguro del equipo, que puede satisfacer la demanda de energía del equipo cuando funciona.
- Está prohibido realizar una mala manipulación del sistema de gas.
- Verificar el buen estado de la válvula de gas
- Evitar el funcionamiento de la máquina dentro de ambientes mojados o húmedos.
- El alcohol obtenido debe almacenarse de manera inmediata al empezar a salir para evitar accidentes.

4.11 Fases de funcionamiento

Fases	Descripción	Imagen
Primera Fase	El producto a destilar (guarapo) es ingresado manualmente al tanque de ebullición mediante la avertura diseñada especificamente para el llenado.	
Segunda Fase	Una vez llenado el tanque y sellado se activa el sistema mediante el boton pulsador de incio que se encuentra en el tablero de control, el cual activará todo el sistema, para su uso.	
Tercera Fase	El sensor de nivel colocado en el tanque de ebullición y una vez activado el sistema enciende el motor de refrigeración, que es el que nos va a dar una mejor optimización en el tanque de condensación.	
Cuarta Fase	Encendido de la caldera mediante el pulsador del módulo de chispa de electrodo ignición ubicado en el tablero de control. (asegurarse de la abertura de válvula de gas)	
Quinta Fase	La solución a destilar (guarapo) se calienta y sube por todo el sistema de destilación hasta llegar al tanque de condensación, aumentando su temperatura y accionando la bomba de agua a 60°C, dando paso de líquido mediante la tubería de PVC	
Sexta Fase	Salida del licor destilado. Se recomienda un tanque de recolección de un litro.	

LIMPIEZA

4.12 Precauciones de seguridad

Precauciones de seguridad:

- La limpieza de este artículo se realiza bajo la condición de desconectar la fuente de alimentación
- Este prohibido enjuagar y echar gua directamente al equipo, pues puede dañar los elementos eléctricos y actuadores que se encuentran en él.
- La estructura metálica debe limpiarse con frecuencia. De lo contrario disminuirá su vida útil por someterse a corrosión.
- Está prohibido realizar operaciones eléctricas con equipos y manos mojadas.

El sistema de destilación es óptimo con pruebas realizadas en la obtención de alcohol, la vida útil del equipo es con un máximo de 15 años de la estructura metálica de la estructura metálica, y una vida útil considerable de los elementos de actuación y componentes electrónicos.