



Diseño e implementación de un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del Ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°

Ramón Armijos, Leonardo Mauricio y Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mecatrónica

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

23 de agosto del 2023

Latacunga



Plagiarism report

ESCRITO2.pdf

Scan details

Scan time:
August 22th, 2023 at 20:2 UTC

Total Pages:
76

Total Words:
18770

Plagiarism Detection

Types of plagiarism	Words
Identical	1.5% 273
Minor Changes	2.5% 470
Paraphrased	2.4% 455
Omitted Words	0% 0

6.4%

AI Content Detection

N/A

Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (75)

[🌐 Instalación LOGO SOFT V8.3 » EDUCATIA - Automati...](#) 0.8%

<https://educatia.com.co/instalacion-logo-soft-v8-3/>

0 Inicio CursosCursos Online Eventos Educatia Validar Certificado Tienda VirtualOfertas Blog LOGO!ProcessQue es LOGO!Process Descarga ...

[🌐 Alcohol_ES.pdf](#) 0.7%

https://ncdalliance.org/sites/default/files/resource_files/alco...

ACTIVIDADES COMERCIALES Y POLÍTICAS DE LA INDUSTRIA DEL ALCOHOL en América Latina y el Caribe IMPLICACIONES PARA LA SALUD PÚBLICA RECO...

[🌐 LOGO Siemens qué es y para qué sirve y cómo progr...](#) 0.7%

<https://www.tecnopl.com/logo-siemens-que-es-y-para-que-...>

Home PROGRAMACIÓN PROG...

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo
C.C.: 1803698800

Certified by

About this report
help.copleaks.com

copleaks.com



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Diseño e implementación de un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del Ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°”** fue realizado por los señores **Ramón Armijos, Leonardo Mauricio y Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de agosto del 2023

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

C. C. 1803698800



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Ramón Armijos, Leonardo Mauricio**, con cédula de ciudadanía No 2100698535 y **Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón**, con cédula de ciudadanía No 1726582800, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Diseño e implementación de un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del Ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 23 de agosto del 2023

Ramón Armijos, Leonardo Mauricio

C.C.: 2100698535

Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón

C.C.: 1726582800



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Ramón Armijos, Leonardo Mauricio**, con cédula de ciudadanía No 2100698535 y **Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón**, con cédula de ciudadanía No 1726582800, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Título: "Diseño e implementación de un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del Ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de agosto del 2023

Ramón Armijos, Leonardo Mauricio

C.C.: 2100698535

Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón

C.C.: 1726582800

Dedicatoria

A los buenos maestros que he tenido en mi vida, quienes me han inspirado a seguir aprendiendo y me han formado más allá de lo académico.

A mis padres y abuelos, cuyo legado y sabiduría han guiado mi camino a lo largo de los años. Su influencia perdurará en mí por siempre.

A mis compañeros de universidad, por hacer este viaje más agradable. En especial, a mi compañero de tesis por su voto de confianza.

Ramón Armijos, Leonardo Mauricio

Dedicatoria

A mis padres por su amor y apoyo incondicional, a mis hermanos por darme aliento en difíciles momentos.

A mi familia, amigos y compañeros con los que he compartido este camino.

Por último, a mi compañero de tesis por el apoyo incondicional.

Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón

Agradecimiento

Gracias al destino por permitirme una segunda oportunidad y a mis padres que han creído en mí durante este proceso. Han sido mi apoyo en la vida, y gracias a ellos no temo cometer ningún error, pues sé que me respaldarán. A mis hermanos, que me han motivado con su afecto y amabilidad, especialmente a Viviana. Les debo mucho, les debo todo.

A mis compañeros de universidad y habitación, que han sido una segunda familia durante mi carrera y han llegado a ser una amistad sincera para toda la vida. Espero compartir con ellos muchas más alegrías y cosechar futuros éxitos.

Gracias a mi compañero de tesis por su profesionalidad y actitud ante la vida. Al igual que nuestro tutor, han sido una guía y un apoyo en este proceso de culminación.

Finalmente, a todas las personas que han dejado una huella imborrable en mi vida, llevo su recuerdo de forma constante en mi corazón.

Ramón Armijos, Leonardo Mauricio

Agradecimiento

Quiero agradecer a la vida, que, aun siendo tan difícil e indescifrable en algunos momentos, también es hermosa y llena de cosas buenas y gracias a ella he tenido la oportunidad de elegir mi camino el cual, por el momento, concluye con este trabajo hecho con mucha dedicación y esfuerzo y del cuál estaré orgulloso toda mi existencia.

Agradezco a mi familia que ha estado a mi lado durante todo este tiempo en especial durante momentos difíciles dando su apoyo y consejo. Agradezco a mis amigos, por sus consejos y palabras de aliento.

Para finalizar, agradezco a mi compañero de tesis por todo su apoyo y sabiduría compartida en este tiempo; a mi tutor, ing. Andrés Gordón por sus consejos y guía y por último al ing. Jofre Pacheco por creer en nosotros y darnos la oportunidad de realizar este proyecto.

Yanchapaxi Chicaiza, Diego Ramón

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	8
Índice de contenidos	10
Índice de figuras	16
Índice de tablas.....	16
Resumen.....	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Planteamiento del problema	21
Antecedentes.....	21
Formulación del problema.....	23
Justificación e importancia	24
Objetivos.....	26
<i>Objetivo general.....</i>	<i>26</i>
<i>Objetivo específico.....</i>	<i>26</i>
Hipótesis	26
Variables de investigación.....	26

<i>Variable independiente</i>	26
<i>Variables dependientes</i>	26
Metodología de desarrollo del proyecto	27
<i>Diseño de la torre</i>	27
<i>Pruebas de la destilación</i>	28
<i>Análisis de resultados</i>	29
Capítulo II: Marco Teórico	30
¿Qué es el alcohol?.....	30
Tipos de alcohol	30
<i>Monoalcoholes o alcoholes</i>	31
Etanol o alcohol etílico	31
Industria del alcohol.....	31
<i>Industria alcoholera del Ecuador</i>	34
Proceso para la elaboración de alcohol etílico con base de caña de azúcar.....	38
<i>Selección y cosecha de la caña de azúcar</i>	38
<i>Molienda</i>	38
<i>Fermentación</i>	39
<i>Destilación</i>	39
<i>Rectificación</i>	40
Columnas de destilación	40
<i>Columna de relleno</i>	40
<i>Columna de platos</i>	41
Descripción de los elementos para la automatización	44

Sensores	44
Sensor de temperatura	44
Sensor de nivel.....	45
Actuadores.....	46
Actuadores manuales	47
Actuadores eléctricos	47
Elementos físicos	49
Torre o columna de destilación.....	49
Calderines.....	49
Depósito de almacenamiento u olla.....	49
Caldero.....	50
Platos de rectificación	50
Condensadores	50
Alimentación	50
Vapor de agua.....	50
Agua	51
Fermento.....	51
Electricidad.....	51
Control.....	51
PLC.....	51
Módulo AM2 RTD.....	53
HMI	54
Fuente de alimentación.....	55

Regulador de voltaje	56
Capítulo III: Diseño e Implementación del sistema.....	58
Especificaciones de diseño	58
Arquitectura del diseño.....	59
Descripción de hardware	60
Estructura	61
<i>Diseño estructural torre</i>	61
<i>Diseño Conceptual</i>	62
Diseño conceptual del sistema de destilación	62
Diseño conceptual del sistema estructural de cableado y control.....	68
Construcción de la estructura	70
Equipos de control	71
<i>PLC</i>	71
<i>HMI</i>	71
<i>Módulo analógico</i>	72
AM2 RTD	72
Envío y visualización de datos	72
Sensores	73
<i>Temperatura (RTD)</i>	74
Actuadores.....	74
<i>Electroválvula vapor (Solenoides Cilíndrico)</i>	74
<i>Válvulas manuales</i>	75
Montaje de los sensores y actuadores	77

	14
Elementos de protección	78
<i>Interruptor de Circuito Breaker.....</i>	<i>78</i>
<i>Regulador.....</i>	<i>79</i>
<i>Fuente de alimentación</i>	<i>79</i>
Conexiones eléctricas.....	79
P&ID del sistema	80
Programas usados para programación del PLC y HMI.....	82
<i>LOGO Soft V8.3.....</i>	<i>82</i>
Requisitos de instalación y entorno de trabajo	83
<i>KINCO DTools.....</i>	<i>85</i>
Entorno de trabajo Kinco DTools	85
Diagrama de flujo del programa diseñado e implementado.....	86
Diseño del programa implementado en el PLC	88
<i>Entradas y salidas implementadas.....</i>	<i>89</i>
Diseño del HMI implementado.....	90
<i>Presentación</i>	<i>91</i>
<i>Instrucciones</i>	<i>91</i>
<i>Ingreso de datos de tiempos y temperaturas</i>	<i>92</i>
<i>Pantalla de trabajo.....</i>	<i>93</i>
Capítulo IV: Pruebas y resultados	94
Parámetros externos.....	94
<i>Temperatura ambiente.....</i>	<i>94</i>
<i>Vapor de alimentación.....</i>	<i>94</i>

<i>Calderines</i>	95
<i>Alimentación de agua</i>	95
<i>Fermento</i>	95
Encendido general	95
Valores de variables de ingreso de datos.....	96
Pruebas de interfaz humano máquina	97
Pruebas de control de temperatura.....	98
Pruebas de control de recirculación.....	99
Resultados obtenidos	100
Cálculo consumo eléctrico	103
Prueba de hipótesis	105
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	109
Conclusiones.....	109
Recomendaciones.....	110
Bibliografía	111
Anexos.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Estructura básica de los alcoholes</i>	30
Figura 2 <i>Ventas de las empresas de la industria de destilación de bebidas alcohólicas en Ecuador</i>	37
Figura 3 <i>Proceso para obtención de alcohol de caña de azúcar</i>	38
Figura 4 <i>Columna de Relleno y tipos de relleno</i>	41
Figura 5 <i>Columna de platos</i>	43
Figura 6 <i>Esquema de una termocupla</i>	45
Figura 7 <i>Clasificación de los actuadores según el tipo de energía que usan</i>	47
Figura 8 <i>Corte seccional de una válvula solenoide de purga variable</i>	48
Figura 9 <i>Módulo Siemens LOGO! 230RCE</i>	52
Figura 10 <i>Módulo AM2 RTD para LOGO! 230RCE</i>	54
Figura 11 <i>Pantalla Kinco GL070E HMI</i>	55
Figura 12 <i>Fuente de alimentación de 12V</i>	56
Figura 13 <i>Regulador De Voltaje 1000va Propc1000</i>	57
Figura 14 <i>Necesidades de la empresa</i>	58
Figura 15 <i>Arquitectura de diseño del prototipo</i>	60
Figura 16 <i>Diseño de la olla del prototipo</i>	62
Figura 17 <i>Diseño de la torre de rectificación</i>	63
Figura 18 <i>Diseño del condensador final</i>	64
Figura 19 <i>Diseño del sistema estructural de cableado y control</i>	69
Figura 20 <i>Sensor de temperatura RTD</i>	77
Figura 21 <i>Esquema de conexión eléctrica</i>	80
Figura 22 <i>Diagrama P&ID del prototipo</i>	81
Figura 23 <i>Entorno de trabajo LOGOSoft</i>	84
Figura 24 <i>Entorno de trabajo de Kinco DTools</i>	86
Figura 25 <i>Diagrama de flujo del proceso</i>	87
Figura 26 <i>Programa de control en LOGOSoft</i>	88

Figura 27 <i>Presentación de la pantalla del HMI</i>	91
Figura 28 <i>Pestaña de instrucciones del HMI</i>	92
Figura 29 <i>Ingreso de datos de temperatura y tiempo de vaciado y recirculación</i>	93
Figura 30 <i>Pantalla de trabajo del HMI</i>	93
Figura 31 <i>Encendido y primera visualización de la pantalla HMI Kinco</i>	96
Figura 32 <i>Primera prueba de funcionamiento del HMI</i>	97
Figura 33 <i>Prueba del rediseño de la interfaz de trabajo del HMI</i>	98
Figura 34 <i>Prueba de recirculación</i>	99
Figura 35 <i>Obtención del alcohol etílico luego del proceso de destilación</i>	100
Figura 36 <i>Medición manual de la concentración de alcohol</i>	101
Figura 37 <i>Resultado de la primera prueba realizada con retroalimentación</i>	103
Figura 38 <i>Campana de distribución normal de la hipótesis</i>	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características del sistema de destilación</i>	65
Tabla 2 <i>Tabla de comparación de materiales de grado alimenticio</i>	66
Tabla 3 <i>Características de soldadura TIG y MIG</i>	67
Tabla 4 <i>Características de la Estructura de Cableado y Control del prototipo</i>	71
Tabla 5 <i>Cotización de elementos eléctricos</i>	72
Tabla 6 <i>Características de sensores de temperatura</i>	73
Tabla 7 <i>Condiciones de trabajo del solenoide</i>	75
Tabla 8 <i>Características de las válvulas</i>	76
Tabla 9 <i>Símbolos del diagrama P&ID</i>	82
Tabla 10 <i>Nombres de elementos del entorno de trabajo de LOGO Soft</i>	85
Tabla 11 <i>Tabla de entradas y salidas</i>	89
Tabla 12 <i>Valores mínimos y máximos de las variables para ingresar en los parámetros de control</i>	96
Tabla 13 <i>Tabla de resultados obtenidos en las distintas pruebas</i>	101
Tabla 14 <i>Tabla de consumo eléctrico de cada elemento del prototipo</i>	104
Tabla 15 <i>Mediciones de concentración de etanol con retroalimentación</i>	106
Tabla 16 <i>Datos para cálculo de la desviación estándar</i>	106

Resumen

El proyecto consiste en el diseño, construcción e implementación de un sistema de automatización de una torre rectificadora de etanol. Para ejecutar el proyecto se hará una investigación preliminar sobre tecnologías en torres rectificadoras lo cual establecerá un parámetro para esta torre. Se procederá a realizar el diseño mecánico de la torre empleando un software de diseño 3D, se realizará un diseño innovador además del análisis respectivo de la estructura. A continuación, se realizará la selección de sensores y su acondicionamiento. Seleccionar el controlador adecuado será esencial para el proceso y se diseñará la interfaz gráfica (HMI) para monitorear los parámetros de la torre. El primer sistema es la torre rectificadora la cual va a tener un diseño el cuál será guiado por los expertos en la empresa al necesitar especificaciones necesarias para garantizar la calidad del alcohol que se pretende destilar. El siguiente sistema es el control de temperatura de la planta el cual consiste en un grupo de sensores ubicados en cada etapa de rectificación, estos permitirán observar datos de temperatura en tiempo real en una pantalla (HMI), además de comprobar que la torre de destilación se estabilice en las condiciones requeridas para este proceso. Finalmente, se realizará un diseño innovador del control de las electroválvulas para poder implementar una retroalimentación en el proceso de destilación la cual junto al control de temperatura garantizarán la obtención de propiedades requeridas para el alcohol producido. Una vez desarrollado el diseño mecatrónico se construirá, implementará y posteriormente se realizarán pruebas parciales de cada sistema para identificar el estado de estos y una vez validado el correcto funcionamiento, se realizará pruebas realizando el proceso de destilación de etanol, para comprobar el correcto funcionamiento del sistema, permitiendo validar posibles errores es estos a los cuales se les hará un seguimiento correctivo de los mismos.

Palabras clave: Etanol, Torre de rectificación, Retroalimentación de alcohol

Abstract

The project consists of the design, construction and implementation of an automation system for an ethanol rectifying tower. To execute the project, a preliminary investigation will be carried out on technologies in rectifying towers, which will establish a parameter for this tower. The mechanical design of the tower will be carried out using 3D design software, an innovative design will be carried out in addition to the respective analysis of the structure. Next, the selection of sensors and their conditioning will be carried out. Selecting the right controller will be essential for the process and the graphical interface (HMI) will be designed to monitor the parameters of the tower. The first system is the rectifying tower which will have a design which will be guided by the experts in the company in needing the necessary specifications to guarantee the quality of the alcohol that is intended to be distilled. The next system is the temperature control of the plant which consists of a group of sensors located in each stage of rectification, these will allow to observe temperature data in real time on a screen (HMI), in addition to verifying that the distillation tower stabilizes in the conditions required for this process. Finally, an innovative design of the control of the solenoid valves will be carried out in order to implement a feedback in the distillation process which, together with the temperature control, will guarantee the obtaining of the properties required for the alcohol produced. Once the mechatronic design has been developed, it will be built, implemented and subsequently partial tests of each system will be carried out to identify the state of these and once the correct operation has been validated, tests will be carried out carrying out the ethanol distillation process, to verify the correct operation of the system, allowing validation of possible errors, these being corrective follow-up.

Keywords: Ethanol, Rectification tower, Alcohol feedback

Capítulo I

Planteamiento del problema

Antecedentes

Una definición de etanol nos dice que “es un tipo de compuesto químico, llamado también alcohol etílico, que a presión y temperatura normales se caracteriza como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78°C” (Cornejo Arteaga, 2016). Además de ser incoloro y volátil, el etanol posee un olor agradable al gusto humano. Este líquido se obtiene a partir de varios métodos entre los principales se encuentran la fermentación de azúcares y obtenerlo sintéticamente a partir del etileno. (OIT, 1998)

La producción de etanol es un claro ejemplo de cómo la ciencia, la tecnología, la agricultura y la industria pueden trabajar en conjunto con un objetivo en común, como lo es transformar un producto agropecuario en una materia prima para la elaboración de alcohol antiséptico, gel antiséptico, pintura, tiñero, perfumes, además de la elaboración de productos de consumo humano como bebidas alcohólicas, entre otros.

Los procesos de producción de etanol han tenido cambios significativos durante todos estos años, el método que se emplea depende del uso que se le va a dar, siendo los tres más usados bebidas, industrial y combustible, sin embargo, los pasos principales no varían en gran medida. (MAIZAR, 2017)

El proceso de obtención de etanol a base de caña de azúcar comprende de la extracción del jugo de caña de azúcar (rico en azúcares) y su posterior adecuación para hacerlo más fácil de digerir por las levaduras durante la fermentación. La biomasa debe separarse del caldo de fermentación resultante para dar cabida a la concentración de etanol a través de diferentes operaciones unitarias y luego deshidratarse ya que se utiliza como aditivo oxidante.

La producción de etanol a partir de maíz requiere la hidrólisis de las cadenas de amilosa y amilopectina presentes en el almidón a azúcares fermentables. El almidón se descompone mediante procesos enzimáticos, luego de un paso de gelatinización, en el que el almidón se disuelve para hacer que la amilasa sea más accesible. El jarabe de glucosa obtenido es el punto de partida de la fermentación alcohólica, en la que se obtiene una solución acuosa-etanolosa, como es el caso del azúcar de caña, que luego se lleva a la etapa de aislamiento del producto.

La empresa Grupo Pacheco perteneciente a la ciudad de Latacunga enfocada en distintas áreas industriales como la parte automotriz y telecomunicaciones, tiene como objetivo a mediano plazo añadir a su catálogo de productos y servicios la producción de alcohol etílico, por lo que se requiere automatizar el proceso de obtención de etanol mediante una torre rectificadora de alcohol.

En la provincia de Cotopaxi, concretamente en el sector del Corazón, varias familias por generaciones se han dedicado a la destilación artesanal del alcohol a partir de la caña de azúcar, comenzando de allí y con esos conocimientos ancestrales, Grupo Pacheco se ha propuesto industrializar este proceso, incorporando estos conocimientos milenarios a la industria de la producción del alcohol. Por esta razón han creado la marca "Alcoholes del Ecuador" la cual se dedicará a realizar la producción de etanol a partir de la caña de azúcar.

Actualmente el costo de una planta industrial de destilación de etanol se ha presupuestado alrededor de los dos millones de dólares según una cotización realizada por Grupo Pacheco a una empresa brasileña instruida en el tema, sin embargo, esto no garantiza la calidad de alcohol que esperan obtener y por ende es una inversión de alto riesgo por la cantidad de dinero y la gran incertidumbre que se tiene al respecto. Para ello se espera crear un laboratorio pequeño u prototipo el cual permitirá aclarar la calidad de producto que se obtiene con este proceso. El desarrollo de este producto está a cargo del gerente propietario de esta empresa el cuál con varios años de experiencia en el tema de la

obtención de alcohol etílico de manera artesanal, ha venido realizando un estudio para poder industrializar este proceso durante varios años y con la ayuda de profesionales en el campo de la química por lo que con todos estos recursos ha logrado obtener un modelo de torre de rectificación propio e innovador en el mercado el cuál será motivo de construcción para su posterior validación con la ayuda del presente trabajo de integración curricular.

Formulación del problema

La empresa ecuatoriana Grupo Pacheco, la cual está radicada en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, tiene más de 20 años de creación y experiencia que ofrece servicios en varios sectores de la industria ecuatoriana como son el sector automotriz con su marca AUDIO CAR dan servicios de mecánica automotriz en Diesel y gasolina, además incluye instalación de sistemas de audio y video vigilancia de buses y camiones los cuales son requisito para las compañías de transporte para su matriculación, estos servicios están aprobados por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y otra marca que pertenece a esta empresa de servicios tiene su operación en el sector de las telecomunicaciones con su marca Enlace NET que ofrece un servicio de internet por fibra óptica y televisión por cable "All Cinema in House" en la ciudad de Latacunga además de otras parroquias rurales de la provincia de Cotopaxi.

Actualmente, el directorio de esta prestigiosa empresa ha logrado identificar un nuevo nicho de mercado el cuál se encuentra en la producción de alcohol pues a nivel nacional existen varias empresas dedicadas a la producción de perfumería, bebidas alcohólicas, alcohol antiséptico, entre otros, las cuales carecen de materia prima para la elaboración de sus diferentes productos la cual importan desde otros países debido a la mejor calidad de esta materia prima comparándola con la que se ofrece en el país. La producción de alcohol como materia prima significará para estas empresas un ahorro en

costos de importación para la elaboración de sus productos variando precios y calidad agregando un valor adicional que es la elaboración por parte de una empresa nacional y bajando costos con respecto a los competidores extranjeros, de esta manera se cambiaría la matriz productiva del país y se podría ser una fuente generadora de empleo directo e indirecto para los ciudadanos de la provincia de Cotopaxi.

Uno de los procesos esenciales para extracción del alcohol es la destilación, la cual, artesanalmente se realiza en un tiempo estimado de 5 horas, en este tiempo se logra obtener un alcohol a un grado de concentración relativamente bajo durante un corto periodo del tiempo estimado de la producción total, el resto de este tiempo, el nivel de concentración disminuye gradualmente debido a que este proceso no posee un control ni de temperatura ni de tiempos de destilación y esto provoca una caída en la pureza de alcohol con lo cual el resultado final de este proceso es un etanol con un nivel de concentración por debajo del 80% de alcohol.

Por lo tanto, una solución ante este problema es la automatización de la torre de destilación, la cual garantizará el nivel de concentración de alcohol constante durante el proceso de destilación, reduciendo pérdidas de producto provocado por una mala calidad del alcohol debido a las inconsistencias en su concentración y optimizando los recursos y el tiempo de destilado.

Justificación e importancia

El presente proyecto se enfocará en el diseño e implementación de un prototipo de destilación de etanol con control automatizado que se enfocará en la inspección de la temperatura de la torre y el proceso de recirculación que debe tener el etanol para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°, ya que actualmente estos procesos deben ser automatizados para su mejora continua, optimizar los tiempos de producción y los recursos necesarios para su obtención.

El proceso de destilación de alcohol es descrito por Paz, I. y Molina, M. en su estudio realizado para la Universidad de Madrid en el año 2007, el cual menciona que

El etanol y el agua forman una mezcla azeotrópica, que es una mezcla líquida que tiene un punto de ebullición máximo o mínimo, en relación con el punto de ebullición de sus componentes puros. El vapor de una mezcla azeotrópica (...) hierve a temperatura constante. La mezcla azeotrópica formada por etanol y agua tiene un punto de ebullición de 78,2 °C, inferior al punto de ebullición del agua (100 °C) y el alcohol etílico (78,3 °C), siendo una mezcla con punto de ebullición mínimo. (como se citó en Herrera, 2011).

La importancia del proyecto radica en que los procesos que antes se usaban para la extracción de alcohol etílico era de manera artesanal lo cual implica una gran pérdida de tiempo y de recursos y no cuenta con la calidad que se requiere para poder comercializarlo a diferentes industrias, por lo cual el factor crítico en este proceso como lo aclaramos anteriormente en el texto obtenido de (Herrera, 2011) es la temperatura ya que es esencial lograr controlarla para poder alcanzar el objetivo planteado por la empresa.

En cuanto a la innovación, la tecnología ha ido evolucionando en procesos industriales con la finalidad de aumentar la producción, disminuir costos, optimizar tiempo y mejorar la calidad de productos una muestra de ello son las interfaces hombre máquina HMI las cuales han ido desarrollándose en el tiempo con las cuales con ayuda de sensores y actuadores se puede ir observando el proceso en tiempo real e incluso poder controlarlo desde esta interfaz.

Por tanto, el desarrollo de proyecto se hace con el fin de obtener un alcohol de un grado superior a 80° de concentración el cual se necesita que las propiedades no cambien, sean de un refinamiento óptimo para los objetivos de la empresa y sean aptos para la elaboración y el uso en diferentes productos.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de destilación de etanol con control automatizado en la planta alcoholes del Ecuador de la provincia de Cotopaxi para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80°.

Objetivo específico

Investigar el estado del arte enfocado en el proceso de destilación de alcohol a partir del jugo de la caña de azúcar y la factibilidad de convertir este proceso en un proceso automático.

Diseñar la automatización del prototipo de automatización del proceso de destilación de alcohol en una torre rectificadora.

Construir el diseño propuesto e implementar las características y mejoras deseadas en el diseño base.

Validar el funcionamiento del prototipo en base a las necesidades planteadas.

Hipótesis

¿El prototipo de destilación de alcohol con control automatizado permitirá producir alcohol con una concentración mínima de 80° en la empresa Alcoholes del Ecuador, en la provincia de Cotopaxi?

Variables de investigación

Variable independiente

Prototipo de control automatizado

Variables dependientes

Producción de Alcohol con grado de concentración mínimo de 80°

Metodología de desarrollo del proyecto

Para este proyecto se hará uso del método bibliográfico al inicio ya que necesitamos recopilar información sobre los procesos de destilación y las condiciones necesarias para realizar este procedimiento, con lo cual vamos a empezar por investigar varias máquinas que realicen este trabajo de manera artesanal e industrial, de manera manual tal como se propone en el siguiente trabajo y se continuará con el método experimental para validar los datos recopilados mediante la investigación bibliográfica aplicándolos en el diseño y construcción del prototipo.

Se hará uso de la observación como técnica para recopilar información necesaria la cuál será información como características significativas, propiedades, temperatura, entre otros, de la torre rectificadora para la modificación de los parámetros de diseño necesarios para su automatización. La experimentación nos ayudará a verificar el diseño mediante la comprobación del correcto funcionamiento del prototipo de automatización de la torre rectificadora propuesto.

Diseño de la torre

El diseño de la torre se lo realizó a partir de un diseño básico el cuál varios destiladores artesanales han usado por varios años y mediante investigaciones realizadas por el gerente de la empresa Alcoholes del Ecuador a lo largo de varios años en internet y varias publicaciones académicas como artículos y tesis, además de la asesoría de varios profesionales en la rama de la química, con todos estos datos ha procedido a realizar el diseño de los platos internos que formarán cada una de las etapas de destilación internas de la torre.

Como ya se tiene esto, se parte de este punto para el desarrollo del diseño de la torre en un programa CAD en el cual nos guiamos por el diseño previo proporcionado por la empresa para fabricar el prototipo de la torre de destilación y se continuó con su fabricación.

Luego se procedió a escoger los componentes electrónicos mediante los cuales se implementará el control propuesto y de esta manera realizar la adquisición de los mismos y posteriormente colocarlos en su posición dentro del prototipo y asegurarlo para evitar fugas y su mal funcionamiento.

Al final se realizó la programación de los dispositivos de control los cuales constan de un computador lógico programable PLC y una interfaz hombre máquina HMI, los cuales deben trabajar a la par para poder realizar el control y visualización del proceso realizado por el prototipo de torre de destilación.

Pruebas de la destilación

Para la destilación se necesita controlar la temperatura interna del fermento por lo que se procedió a probar con distintas temperaturas en la parte superior de la torre, es decir en la última etapa de rectificación para de esa manera poder comprobar que nivel de concentración de alcohol se logra obtener con distintas temperaturas las cuales variaban y se tomaron diferentes muestras para ello.

Otro elemento clave del proceso es la retroalimentación necesaria para poder llegar a un nivel de concentración superior al realizar el proceso de destilación aplicando varias pasadas al mismo etanol separándolo de las partículas de agua que provocan que este nivel sea más bajo por ello las pruebas realizadas tienen que ver con el tiempo al que el etanol está sometido a recirculación y el tiempo en el que recolectamos el alcohol.

Análisis de resultados

Una vez obtenida la tabla de resultados de temperaturas y tiempos de recirculación y recolección de alcohol, se obtienen otras variables como lo es el tiempo de destilación con el cuál podemos calcular el consumo energético requerido para destilar esa cantidad de fermento para obtener esa cantidad de alcohol a un nivel específico.

De esta manera se puede estimar un costo de producción y una inversión mensual que tendría que realizar la empresa para poner en operación su esta máquina en una jornada de trabajo regular. Con esto se puede conocer si esto es beneficioso o no el uso de esta máquina prototipo para la empresa.

Capítulo II

Marco Teórico

¿Qué es el alcohol?

Grisales y Carvajal en el año 2016 nos dicen que:

Los alcoholes son compuestos con la fórmula R-OH donde R puede ser cualquier cadena orgánica y OH que es el grupo hidroxilo. Las propiedades físicas se basan en su estructura, ya que el alcohol está compuesto por una cadena orgánica, estas propiedades dependen de su tamaño y forma. (Grisales & Carvajal, 2016)

Tipos de alcohol

Los alcoholes se pueden clasificar según el número de grupos hidroxilo que forman parte de su estructura molecular, los cuales son mono alcoholes llamados alcoholes y polialcoholes llamados polioles, podemos apreciar su estructura en la figura 1.

Figura 1

Estructura básica de los alcoholes.



Nota. El gráfico representa la estructura molecular de los tipos de alcohol. Tomado de *Propiedades Químicas de los Alcoholes* por Juan Manuel Grisales y María teresa Carvajal, 2016

Monoalcoholes o alcoholes

Se caracterizan por estar formados por un solo grupo de hidroxilo, por ejemplo, el etanol y el propanol

Etanol o alcohol etílico. El etanol es un líquido incoloro e inflamable con un olor característico obtenido de la destilación de los productos a partir de fermentación de sustancias azucaradas o feculentas, como uvas, melazas, remolachas o papas, se utiliza en la composición de numerosas bebidas (vino, agua de vida, cerveza, etc.) y se utiliza principalmente como desinfectante.

En cuanto a las aplicaciones del etanol, la enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo nos dice que:

El metanol es un solvente para pinturas, colorantes, resinas y adhesivos. Se utiliza en la producción de plásticos, jabones para textiles, pinturas para madera, telas recubiertas de resina sintética, vidrios irrompibles y productos impermeabilizantes. Sirve como materia prima para la fabricación de muchos productos químicos y es un ingrediente de decapantes de pinturas y barnices, productos desengrasantes, líquidos embalsamadores y mezclas anticongelantes. (OIT, 1998)

Industria del alcohol

Eduardo Puertas en el año de 1948 nos da una descripción de esta industria en la cual nos menciona que:

La industria del alcohol etílico se refiere a la producción de alcohol crudo y su producto refinado, en esta industria también se encuentra la elaboración de aguardiente y todos aquellos líquidos en los que el alcohol es un componente esencial. Casi todo el alcohol consumido en el mundo se obtiene de la fermentación de líquidos azucarados o almidonados. La fermentación es un proceso por el cual las

moléculas grandes se descomponen en moléculas más pequeñas y es causada por microorganismos. (Puertas Arias, 1948)

En América Latina y el Caribe la industria del alcohol se concentra en mayor medida a la producción de bebidas alcohólicas ya que el consumo de alcohol es alto en la región. Estos productos se realizan en mayor medida con materia prima obtenida a través de la destilación de fermentos de productos vegetales como la caña de azúcar, la cebada o el maíz, estos productos se dan en mayor cantidad en esta región debido a la variedad de climas favorables para su plantación y posterior cosecha especialmente en las zonas templadas y calientes de la región.

Los autores Robaina, Babor, Pinsky y Johns en su informe Actividades Comerciales y Políticas de la Industria del Alcohol en América Latina y el Caribe: Implicaciones para la Salud Pública, están a favor de crear políticas públicas y programas de responsabilidad social, las cuales regulen la fabricación del alcohol a los pequeños fabricantes y el consumo de estas bebidas ya que de otra manera, estos productos pueden resultar maliciosos para la salud pública por lo que en su escrito nos mencionan que “el consumo desmesurado de alcohol es el factor principal de probabilidad de muerte y discapacidad en América Latina y el Caribe” (Robaina, Babor, Pinsky, & Johns, 2020).

De igual manera nos aclaran de manera general cuales son los actores involucrados en la cadena de producción de esta materia prima y las actividades comerciales ejercidas por dicha industria las cuales son generalizadas para nuestra región:

La industria del alcohol está compuesta por los principales productores, grandes distribuidores y minoristas de bebidas alcohólicas, así como sus socios comerciales y organizaciones de 'aspecto social' (...). Las actividades comerciales incluyen la concentración de la propiedad en manos de un pequeño número de empresas que dominan las marcas y productos alcohólicos; y el uso de sofisticadas

técnicas de marketing para llegar a los adolescentes y otros grupos vulnerables.
(Robaina, Babor, Pinsky, & Johns, 2020)

Monteiro en el 2007 aclaraba que dentro de la tendencia general en Latinoamérica del aumento del consumo de alcohol existen dos sub tendencias marcadas de forma importante las cuales son: una disminución considerable en el consumo de vino y un mayor aumento en el consumo de la cerveza y el licor (como se citó en Robaina, Babor, & Pinsky, 2020).

Sin embargo, el alcohol es utilizado en gran medida para la fabricación de distintos productos químicos y disolventes los cuales son aplicados en perfumería, cosméticos, detergente, colorantes, productos de limpieza, anticongelantes, productos químicos en general y varias industrias como por ejemplo la industria textil en la fabricación de hilos y telas. Al enfocarnos en el alcohol etílico, la Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo hace referencia a que:

El etanol es la principal materia prima para muchos productos, como el acetaldehído, el éter dietílico y el cloroetano. Se utiliza como anticongelante, aditivo alimentario y medio de crecimiento de levaduras, en la producción de revestimientos superficiales y en la preparación de mezclas de gasolina y alcohol etílico. La fabricación de butadieno a partir de alcohol etílico ha sido de gran importancia en la industria del plástico y del caucho sintético. El alcohol etílico puede disolver varias sustancias y, por lo tanto, se usa como solvente en la producción de productos farmacéuticos, plásticos, lacas, pinturas, perfumes, cosméticos, aceleradores de caucho, etc. (OIT, 1998)

También, el mismo autor nos menciona los peligros que puede traer el alcohol etílico o etanol para la salud como ante una exposición prolongada de los gases que emana el etanol o irritación en ojos, nariz, cefalea o narcosis provocada por exposición a etanol que tenga concentración superior a 500ppm, puede producir dermatitis al contacto con la piel.

Cuando lo ingerimos, el etanol se oxida de manera eficaz en el cuerpo humano a dióxido de carbono y agua, sin embargo, lo que no se oxida el organismo lo excreta en la orina y el aire exhalado en el proceso de respiración, el consumo de este producto es poco probable en un ambiente industrial, sin embargo, de darse el caso, el peligro radica en la concentración de etanol ingerida, en la que, si es superior al 70% puede producir lesiones esofágicas y gástricas por lo que se debe asegurar que no se produzca la ingesta de alcohol elaborado para usos industriales. Al hablar de etanol sintético, se ha demostrado que es un producto cancerígeno en el que un estudio ha revelado una gran incidencia de cáncer de laringe de trabajadores empleados en una fábrica de etanol. (OIT, 1998)

Industria alcoholera del Ecuador

En el país al igual que en toda la región, la producción de etanol se basa principalmente en materia prima orgánica ya que son países en los que poseen climas variados especialmente cálidos y templados, y en su mayoría solo dos estaciones al año y esto favorece al crecimiento de plantas como el maíz o la caña de azúcar de las cuales se puede destilar etanol. En el año 2018, Petroecuador en su rendición de cuentas nos daba a conocer que:

En Ecuador la producción de alcohol etílico tiene como base la fermentación de la caña de azúcar, la cual está a cargo principalmente de tres grandes destilerías y muchos fabricantes artesanales, los cuales no lograrían llenar la demanda de etanol del país; de ahí aparece la necesidad de evaluar opciones para satisfacer e incrementar la oferta de etanol en el mercado ecuatoriano. (Ricaurte, y otros, 2019)

Ecuador produce etanol el cual puede usarse en la producción de biocombustible el cual lleva como nombre gasolina "Ecopaís", la cual contiene un estimado de 5% v/v de etanol (Ricaurte, y otros, 2019), esto significa un gran ahorro para el país al reducir el costo de producción de gasolina. La gasolina Ecopaís es una alternativa viable en comparación a

los otros combustibles que se comercializan en el país como la gasolina Super y la gasolina Extra ya que estos a pesar de que nuestro territorio tiene grandes reservas de petróleo, el país en si no posee una refinería la cual transforme este petróleo en combustible y por lo tanto este se tenga que importar desde otros países que si poseen refinerías evitando la salida de capitales del estado.

Según la asociación de Biocombustibles del Ecuador (Apale) conformada por las destilerías Codana perteneciente a el ingenio Valdez, destilería Producargo del ingenio Coazúcar y la destilería Soderal que pertenece al ingenio San Carlos “la producción de caña de azúcar y alcohol etílico generan 200.000 plazas de trabajo, esto es, más de 3.000 cañicultores autónomos y 5.000 familias productoras de alcohol artesanal en la Sierra” (El Universo, 2021).

Apale agrega que los biocombustibles son la alternativa principal para variar la matriz productiva del país e impulsar el crecimiento de la industria agrícola del Ecuador, en consecuencia, la producción nacional de etanol promueve la movilidad sostenible en el Ecuador. (El Universo, 2021)

Como ya se mencionó anteriormente, el mayor uso que se le da al alcohol destilado a partir de la caña de azúcar en la región es adentro de la industria de bebidas alcohólicas y Ecuador no es la excepción por lo que la corporación de promoción de exportaciones e inversiones CORPEI en el año 2008 nos muestra cómo trabaja la cadena productiva de licores dentro del país en su publicación “Promoción de exportaciones: Licores del Ecuador” que menciona lo siguiente:

Dentro de la industria agroalimentaria, el sector de bebidas alcohólicas nacional se ha desarrollado localmente con proyección exportadora. Dentro del mercado local, esta producción tradicionalmente se identifica en la región costa y sierra del país, resultando la siguiente información con base en datos proporcionados por empresas del sector: la cadena de valor de la industria del

alcohol es muy extensa, desde productores de los insumos (caña de azúcar) utilizados para la destilación, industrias de alcohol, productores industriales de alcohol (licores), mayoristas y minoristas. Así mismo, sectores directamente relacionados como transporte, empaques, varios insumos, industria gráfica, publicidad, medios de comunicación, entre otros, mueven una gran cantidad de recursos económicos, emplean en gran medida trabajo directo e indirecto, además de llevar un volumen importante de impuestos. (CORPEI, 2008)

En cuanto a los productores de este tipo de bebidas alcohólicas no solo son elaboradas por grandes corporaciones si no que existe una participación continua de pequeños destiladores artesanales tal como se menciona en un artículo publicado por la revista Industrias redactado por la Dirección de Estudios Técnicos CIG, la cual menciona lo siguiente:

Un elemento de interés respecto a la industria ecuatoriana de bebidas alcohólicas es que en la misma existe una participación de negocios de personas naturales. Hasta el mes de junio en el año 2020, en esta industria se hallaron 1.300 productores cuya actividad económica se implementaba bajo la figura de persona natural, así como otros 451 productores realizaron esta actividad bajo la figura de una sociedad como tal, es decir, como personas jurídicas. (Andrade, Pisco, Quinde, & Coronel, 2020)

En la industria de bebidas alcohólicas en el Ecuador, hasta el año 2019 la rama de la destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas representaba aproximadamente el 23% del total de ventas de esta industria con ventas superiores a los USD 194 millones según cifras entregadas por el Servicio de Rentas Internas. El SRI también nos proporciona información de las empresas que registraron mayores ventas de este tipo de bebidas en ese periodo mencionando que podemos apreciar en la figura 2 y menciona lo siguiente:

En lo que se refiere a la rama de destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas, el mayor productor es CORPORACIÓN AZENDE, el cual tiene una facturación de USD 28,4 millones en 2018, seguido por la empresa PRODUCARGO S.A. con USD 20,7 millones en ventas, y por último la tercera empresa llamada LICORES DE AMERICA LICORAM, con USD 8,9 millones en el año 2019. (Andrade, Pisco, Quinde, & Coronel, 2020)

Figura 2

Ventas de las empresas de la industria de destilación de bebidas alcohólicas en Ecuador

	2018	2019
CORPORACIÓN AZENDE S. A.	28.359.462	n/d
PRODUCARGO S. A. PRODUCTORA DE ALCOHOLES	20.728.763	n/d
LICORES DE AMERICA S. A. LICORAM	7.777.142	8.916.457
INDUSTRIA LICORERA IBEROAMERICANA ILSA S. A.	7.581.821	7.916.116
COSMICA CIA LTDA.	5.936.462	n/d
BALDORE CIA LTDA.	4.875.066	8.987.380
EMBOTELLADORA AZUAYA S. A. EASA	4.639.157	n/d
ECUAHIELO S. A.	3.191.641	6.568.215
INDUSTRIA LICORERA EMBOTELLADORA DE LOJA S A ILELSA	2.840.725	3.710.037
LICORES SAN MIGUEL S. A. LICMIGUEL	2.779.691	2.535.811
IMPORTADORA EXPORTADORA Y COMERCIALIZADORA EDICOMPANYS	2.642.466	n/d
INFORMAPORT S. A.	2.562.017	2.178.142
COMPAÑIA EMBOTELLADORA INDUSTRIAL UOOFERAMANABICA BELMA	2.089.400	1.781.225
LOGIST FERDERA S. A. LOGISFERDERASA	1.619.014	n/d
CALAMANTE S. A.	1.418.522	1.550.725
Otras 393 empresas	22.649.157	18.346.141
Elaboración de bebidas malteadas y de malta	121.690.503	n/d



Nota. El gráfico representa las ventas de los principales fabricantes de bebidas alcohólicas de destilación en el periodo 2018-2019. Tomado de *El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador* por Xavier Andrade, Iván Pisco, Leonard Quinde y Cristell Coronel, 2020.

De acuerdo con esta información se puede observar que la industria del alcohol en el país tiene sus nichos de mercado en dos sectores muy importante dentro de la cadena productiva del país como lo son los biocombustibles y las bebidas alcohólicas y estos puede

seguir creciendo cada vez más y expandiéndose hacia la producción de nuevos productos, innovando y mejorando la calidad de estos.

Proceso para la elaboración de alcohol etílico con base de caña de azúcar

El proceso para la obtención de alcohol a partir de la caña de azúcar es el mostrado en la figura 3.

Figura 3

Proceso para obtención de alcohol de caña de azúcar



Nota. La figura mostrada es el diagrama de flujo que se debe seguir para el proceso de obtención de etanol a partir de la caña de azúcar.

Selección y cosecha de la caña de azúcar

El proceso productivo inicia con la siembra de la caña de azúcar la cual en condiciones ideales llega a su madurez y tiempo de cosecha en aproximadamente 12 meses, una vez que llegue el tiempo de cosecha se procede a hacerlo, Una vez realizada la cosecha, se llevan los tallos de la caña a cortarlos en tiras o astillas más finas para facilitar la extracción del jugo del tallo de la caña y luego son almacenadas para la siguiente etapa.

Molienda

La caña preparada es llevada a los molinos los cuales mediante el uso de turbinas de alta presión exprimen las astillas y en el proceso extraen el jugo de la caña.

Sica-Estudio de caña de azúcar nos retroalimenta con la siguiente información:

A medida que la caña de azúcar pasa por el molino, se debe ir agregando agua caliente, para poder extraer la mayor cantidad posible de sacarosa del material fibroso. Este proceso se llama maceración. El bagazo residual que sale de la última unidad de molienda es enviado a secar y posteriormente pasa hacia las calderas usado como combustible, produciendo el vapor de alta presión utilizado para el movimiento de las turbinas de los molinos. (CORPEI, 2008)

Con lo cual vemos que el desecho que queda después de la molienda, es decir el bagazo de la caña, es reutilizado como combustible para las calderas generadoras de vapor que no solo impulsan los molinos si no también dan energía calorífica para la posterior destilación del fermento.

Fermentación

La fermentación produce la descomposición de sustancias complejas en otras sustancias más simples por la acción catalizadora de las enzimas. Esto da lugar a que casi todos los azúcares hallados en el jugo de caña se conviertan en alcohol etílico o etanol.

Destilación

La destilación es el proceso de aplicación de calor por el cual ocurre una separación física de alcohol etílico del resto de compuestos encontrados dentro del fermento previamente obtenido de la caña de azúcar. La CORPEI nos dice que:

El proceso de destilación no sólo se encarga de concentrar el alcohol, sino que se encarga de eliminar una gran cantidad de impurezas de sabor desagradable del etanol. Luego de esto, durante el proceso de envejecimiento, que por lo general tiene lugar en barriles de madera quemada, las impurezas, que son sobre todo un compuesto de alcoholes superiores, se oxidan parcialmente a ácidos, que reaccionan con los alcoholes remanentes formando ésteres de sabor agradable. (CORPEI, 2008)

Rectificación

En este proceso se procede a estandarizar las propiedades químicas del alcohol para mejorar sus características como precedente de la elaboración de productos con base de alcohol como por ejemplo las bebidas alcohólicas.

Columnas de destilación

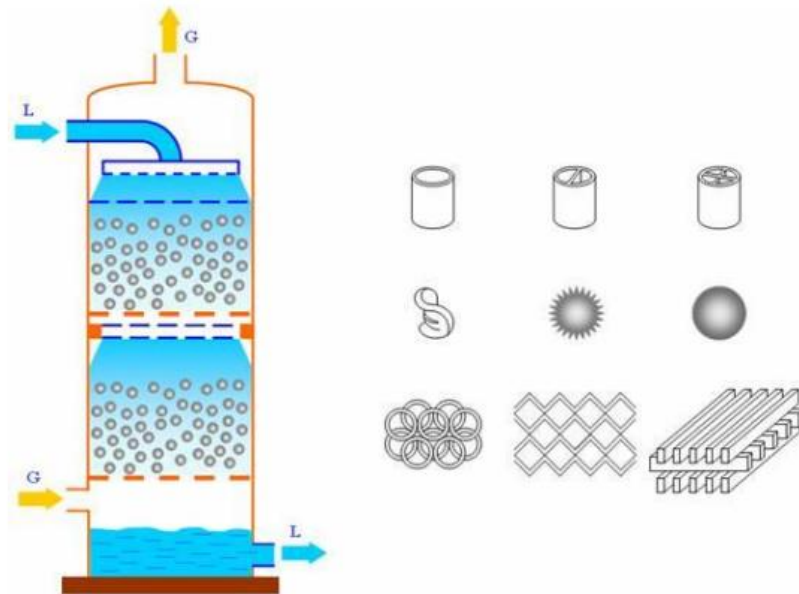
La destilación a nivel industrial es llevada a cabo en torres de rectificación las cuales son grandes tubos por los cuales una vez en su punto de ebullición, el vapor de fermento pasa a través de platos en el interior de estas torres lo que genera los cambios de características y propiedades químicas mencionados en la etapa de destilación, también facilitan a la separación del etanol de otras sustancias presentes en el fermento como agua, alcoholes pesados, entre otras.

Columna de relleno

Este tipo de columnas o torres de destilación son cilindros entre los cuales se encuentran etapas de destilación, las cuales están llenas por material de relleno comúnmente en forma de anillos, sillas de montar o pequeños tubos de materiales sólidos como arcilla o metales moldeables como porcelana, piedra artificial, caucho, vidrio, carbón, entre otros. En la base de cada etapa se encuentra una malla metálica o enrejado que tiene como función retener este relleno y separarlo de la siguiente etapa para poder tener una distancia la cual será calculada de acuerdo con el material de relleno que se emplee dentro de la columna como podemos ver en la figura 4. “Las columnas de relleno no se usan en gran escala, debido a las incertidumbres en los resultados obtenidos y la falta de garantía de los datos y, causado por que las grandes columnas con casquetes de burbujeo son más económicas” (Adriano & Valle, 2012).

Figura 4

Columna de Relleno y tipos de relleno



Nota. En la imagen se puede apreciar la estructura interna de una columna de destilación de relleno la cual está compuesta por dos etapas de destilación, separadas por un espacio el cuál varía de acuerdo con el diámetro de la columna y al relleno que esta use. Tomado de *Diseño y construcción de una torre de destilación con rectificación para la purificación del thinner usado procedente de las mecánicas automotrices* por Sandra Isabel Adriano Yubailli y Verónica Patricia Valle Freire, 2012.

Columna de platos

En este tipo de columnas, las etapas de rectificación están formadas por platos, los cuales se colocan uno sobre otro y se cierran dentro de una cubierta cilíndrica y de esta forma formar la torre de destilación. La alimentación de la columna se puede colocar en uno o varios lugares a lo largo de la columna ya que, por la influencia de la gravedad, el etanol en su fase de vapor y su fase líquida, estas alimentaciones no influirían en el proceso de destilación, tal como nos dice Adriano y Valle en su trabajo del 2012:

Por la diferencia de gravedad entre la fase de vapor y la líquida, el líquido corre hacia la parte baja de la columna, cayendo en forma de cascada de plato a plato, mientras que el vapor se eleva por la columna, para entrar en contacto con el líquido en cada uno de los platos de la columna. (Adriano & Valle, 2012)

Al llegar al fondo de la columna el líquido se comienza a calentar gracias a un hervidor u olla la cual está instalado al fondo de la columna o en una parte externa dependiendo de las dimensiones de la columna. Este líquido al empezar a hervir cambia su estado físico a vapor por lo que asciende a lo largo de la columna subiendo por los agujeros de cada plato gracias a la presión que lo empuja hacia arriba. En la parte superior, generalmente, consta de un condensador el cual proporciona un choque térmico para enfriar el vapor de etanol y revertirlo a un estado líquido y de esta forma poder recogerlo al final del proceso, parte de este líquido retorna a la columna como reflujo para proporcionar un “derrame líquido” y mejorar las propiedades del etanol destilado. El resto del líquido que no se utiliza, queda al fondo de la columna y se lo retira como desecho.

El diseño de este tipo de columnas es efectivo ya que en la parte superior de su estructura ocurre un contacto entrecruzado de corrientes de vapor, procedentes del fondo de la columna, y de líquido el cual es condensado en la parte superior. Esto sucede en cada plato de la columna.

Las fases de vapor y líquido en una placa dada se aproximan a los equilibrios de temperatura, presión y composición, en una medida que depende de la efectividad de la placa de contacto. Los componentes más livianos (punto de ebullición más bajo) tienden a concentrarse en la fase de vapor, mientras que los componentes más pesados (punto de ebullición más alto) tienden a concentrarse en la fase líquida. El resultado es una fase de vapor que se vuelve más rica en componentes ligeros a medida que asciende por la columna, y una fase líquida que

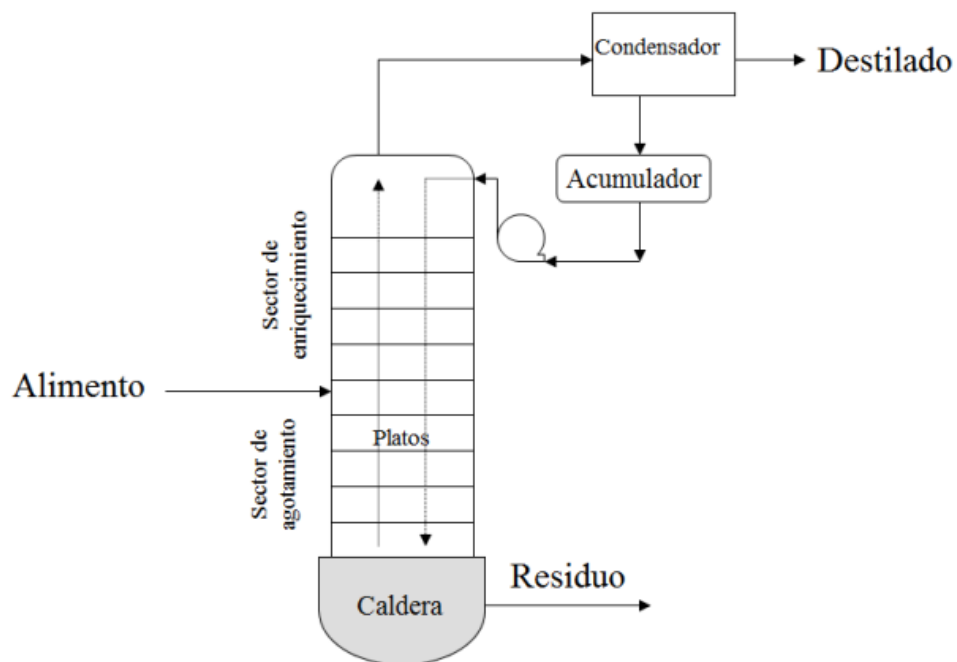
se vuelve más rica en componentes más pesados a medida que desciende en cascada por los platos. (Adriano & Valle, 2012)

La diferencia que se consigue entre el producto final y el fondo depende en gran medida a las volatilidades relativas de cada compuesto, así mismo, del número de platos de contacto o etapas de destilación y de la relación que se le da a la diferencia entre reflujo de líquido y vapor que se condensa.

Otra característica que se puede definir en este tipo de columnas de destilación es la que viene dado por el lugar por donde se introduce la alimentación de materia prima a la columna de destilación. La sección de rectificación es la parte superior a la fuente de alimentación de la columna a diferencia de la parte inferior a la alimentación que se la denomina comúnmente como sección de agotamiento como se aprecia en la figura 5.

Figura 5

Columna de platos



Nota. En la figura se observa el diagrama de representación de una columna de destilación de platos y sus partes. Tomado de *Diseño y construcción de una torre de destilación con rectificación para la purificación del thinner usado procedente de las mecánicas automotrices* por Sandra Isabel Adriano Yubailli y Verónica Patricia Valle Freire, 2012.

Descripción de los elementos para la automatización

La automatización trata de usar técnicas, recursos e instrumentos para convertir un proceso que generalmente se realiza manualmente por personal u operarios dentro de la empresa a un proceso que sea automático, mejorándolo y aumentando su eficiencia en cuanto a recursos como tiempo, materia prima, personal que se requieran para realizarlo.

Se presentarán los elementos disponibles para realizar este proceso y convertirlo a uno automático, para ello se necesitan sensores, actuadores, elementos físicos para el prototipo, fuentes de alimentación y elementos de control, los cuales se van a detallar a continuación.

Sensores

Al momento de medir magnitudes físicas los sensores electrónicos han sido de gran ayuda para poder tener una exactitud en la medición de estas magnitudes. Para poder hacer uso de los sensores, es necesario hablar de los acondicionadores de señal ya que estos permiten adquirir las señales muy pequeñas que son entregadas por el sensor, luego las acondicionan a salidas entre 0-5V, 0-20mA o 4-20mA dependiendo del acondicionamiento y al final entregan estas señales para poder utilizarlas en el proceso que se esté realizando.

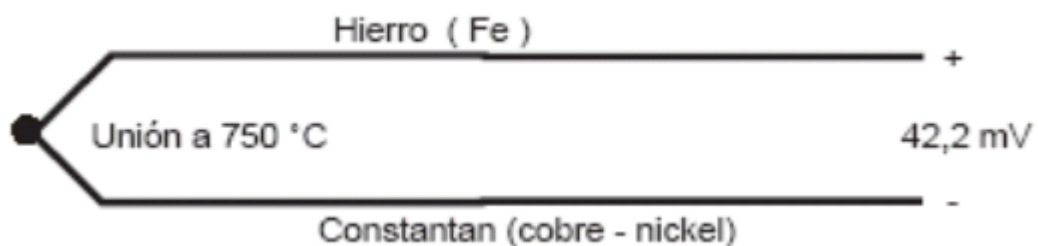
Sensor de temperatura. La temperatura es el parámetro más común para medir en cualquier aplicación como aplicaciones en las que su medición sea esencial para el proceso u otras en las que sea secundaria, pero de igual manera afecta significativamente al proceso.

Termocuplas. Las termocuplas son los sensores de temperatura más usados en la industria por su facilidad de uso. Aragonés et. al. Nos explican la composición y el funcionamiento de este tipo de sensores: “Una termocupla se hace con dos alambres unidos de distinto material, al aplicar temperatura en esta unión se genera un voltaje muy pequeño, en milivolts el cual aumenta a medida que aumenta la temperatura aplicada” (Aragonés, y otros, 2003).

En la figura 6 podemos apreciar el esquema de una termocupla formada por un alambre de hierro y otro de constantan que es un material creado a partir de cobre y níquel.

Figura 6

Esquema de una termocupla



Nota. Podemos apreciar esquema de una termocupla formada por un alambre de hierro y otro de constantan (cobre y níquel). Tomado de *Sensores de temperatura* por Aragonés, J. B., Gómez, C. G., Zaragoz, B. Z., Martínez, A. G., Campos, D. M., & Llinares, A. G., 2003.

Estos sensores vienen encapsulados en estructuras metálicas las cuales fueron creadas para que realicen su trabajo de manera adecuada en condiciones extremas, como las de un entorno industrial.

Sensor de nivel. Los sensores de nivel de un líquido operan comparando el nivel de un líquido en comparación a una línea de referencia, el desplazamiento producido por el flotador además de las características de los líquidos como características eléctricas u otros

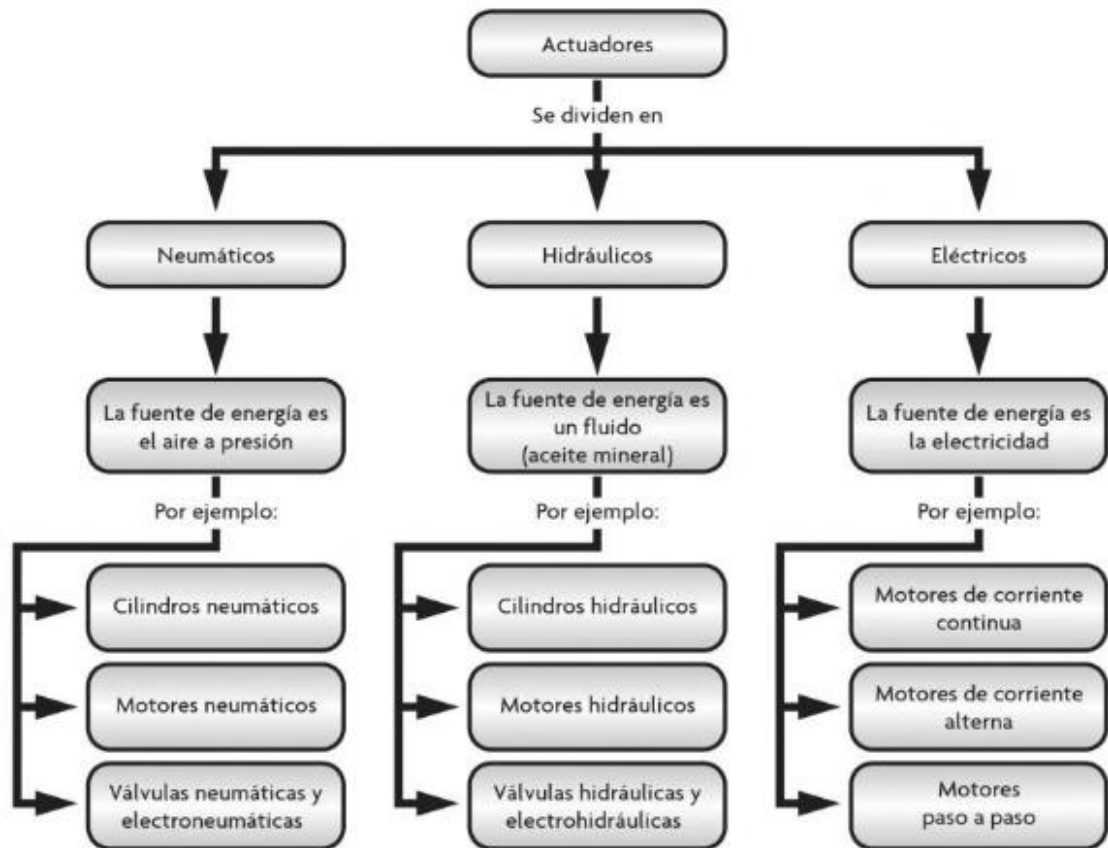
fenómenos encontrados en un líquido. Estos sensores se pueden clasificar en sensores puntuales los cuales pueden ser utilizados para dar alarmas ya que, si la altura de un líquido llega a este, se activa, es decir, funciona para un nivel bajo de líquido, así como para un nivel alto de líquido. La segunda clasificación de este tipo de sensores es conocido como sensores continuos ya que tiene como característica que emiten señales de nivel por todo su recorrido, es decir pueden dar señales de 0 a 100%. Este tipo de señal es mejor utilizarlo para ciertas aplicaciones en el que el nivel de líquido represente todo lo que una variable crítica dentro de ese sistema.

Actuadores

Un actuador es un dispositivo que tiene la capacidad de generar movimiento a partir de la transformación de energía que ocurra en él, este movimiento puede ejercer un cambio de posición, velocidad o estado en el actuador o en los elementos mecánicos que lo componen. Los actuadores se clasifican según el tipo de energía que utilicen como por ejemplo actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos como lo podemos observar en el diagrama de la figura 7. Otra clasificación que se les da es la de acuerdo con movimiento que generan como actuadores lineales o rotatorios.

Figura 7

Clasificación de los actuadores según el tipo de energía que usan



Nota. Se presenta la clasificación de los actuadores según el tipo de energía que usan.

Tomado de *Sensores y actuadores* por Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M., 2014.

Actuadores manuales

Llave de paso. Son un tipo de válvulas manuales las cuales están puestas en zonas críticas de la tubería las cuales facilitan la entrada o salida de vapor y/o líquido del sistema. Estas llaves tienen un sistema de cierre de 90° por lo que son llamadas también como llaves de 1/2 vuelta y generalmente están fabricadas de materiales como acero inoxidable o bronce y son aptas para el paso de agua, gas, vapor o petróleo.

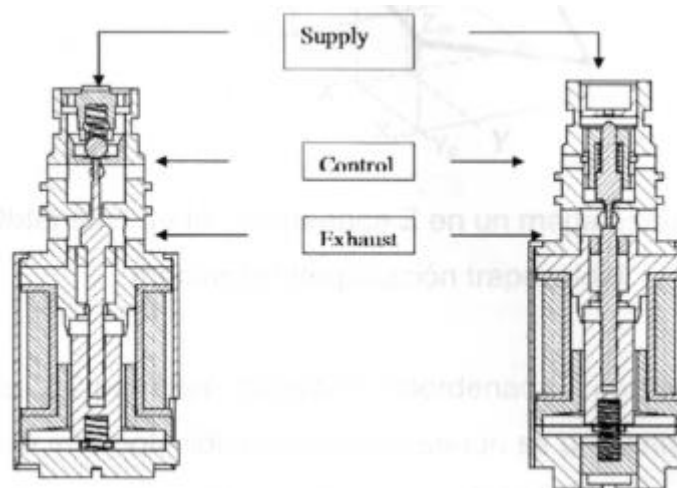
Actuadores eléctricos. Ramírez, Jiménez y Carreño en su libro *Sensores y Actuadores*, del año 2014 nos mencionan que:

Los actuadores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica, rotativa o lineal. Entre los actuadores disponibles en el mercado, son los más utilizados debido a que su fuente de alimentación es la electricidad, que es el tipo de energía disponible en la red de distribución eléctrica. Por otro lado, los actuadores hidráulicos o neumáticos requieren compresores para generar este movimiento mecánico. (Ramírez, Jiménez, & Carreño, 2014)

Electroválvulas o válvulas solenoides. Las electroválvulas o válvulas solenoides son actuadores eléctricos que están diseñados para poder realizar el control ON-OFF del flujo de un fluido. Tienen un diseño robusto el cual les permite trabajar con distintos fluidos en condiciones extremas, unos ejemplos de fluidos para los cuales están hechas estas válvulas solenoides son agua, vapor, aceite, petróleo, aire, gas, combustible, entre otras, como vemos en la figura 8. Debido a la variedad de fluidos para los que están elaboradas estas electroválvulas, los materiales de los que están fabricados comúnmente son latón, acero inoxidable o Policloruro de Vinilo (PVC).

Figura 8

Corte seccional de una válvula solenoide de purga variable



Nota. La figura representa el corte seccional de una válvula solenoide de purga variable VBS la cual tiene tres partes: Alimentación, control y escape. Tomado de *Identificación y*

control de una válvula solenoide por medio de redes neuronales por Luis Javier Pando Rodríguez, 2010.

En cuanto al funcionamiento de estas válvulas es simple, tal como nos describe Jon Sesma en su trabajo: “Un muelle empuja un pistón manteniendo el circuito cerrado. Cuando se alimenta la válvula con tensión, el solenoide funciona como un electroimán que levanta el pistón abriéndose así el circuito” (Sesma Beltrán de Salazar, 2022).

Elementos físicos

Se muestra una breve recapitulación de los elementos físicos que formarán parte de la estructura externa y la estructura interna de nuestro sistema a implementar.

Torre o columna de destilación. La torre de destilación está formada por una coraza cilíndrica, la cual el diseño está hecho y proporcionado por la empresa Alcoholes del Ecuador y es un diseño a escala de la torre que quieren implementar en el futuro. Está formada por 4 etapas de rectificación las cuales se encuentran al interior de la misma torre y está fabricada de acero inoxidable para una mayor robustez.

Calderines. Al igual que la torre o columna de destilación, estos calderines son diseñados por la empresa y constituyen una parte crucial de su prototipo o laboratorio ya que dependiendo de su eficiencia usarán este mismo diseño para replicarlo a una mayor escala o lo cambiarán para un menor consumo de energía calorífica. En total para el prototipo se usan 4 calderines conectados por un sistema de tubos. Todo este sistema tendrá la función de un intercambiador de calor el cual deberá calentar el fermento hasta su punto de ebullición para empezar la destilación.

Depósito de almacenamiento u olla. Este depósito está basado en los depósitos tradicionales que se han venido usando para la destilación tradicional de alcohol, tiene una

estructura cónica y una capacidad para 600L de fermento. En su interior encontramos los calderines por eso es conocida a su vez como olla y es un diseño alternativo al propuesto por la empresa para su torre de destilación a gran escala.

Caldero. Ya que este prototipo funciona con unos calderines haciendo la función de un intercambiador de calor para poder realizar su trabajo, se necesita una fuente de vapor, la cual es suministrada por una empresa hermana de Grupo Pacheco.

Este caldero tiene una alimentación de Diesel para la combustión interna y una alimentación de agua para la producción de vapor. Otra característica del caldero es que tiene un suministro de 30 psi de presión con lo cual es más que suficiente para la puesta en marcha de nuestro prototipo y las pruebas que se deban realizar en él.

Platos de rectificación. Los platos como todo el prototipo están elaborados a partir del diseño de la empresa por lo que es propio de ellos y único en su tipo, sin embargo, este diseño sigue los principios básicos de la rectificación de moléculas por lo que se estima que el diseño sea efectivo ya que usa dos tipos distintos de platos en cada etapa de rectificación. Al igual que los calderines internos, estos forman otra parte crítica en el proceso y de no trabajar adecuadamente, la empresa procederá a cambiarlos para mejorar el proceso y obtener un alcohol con una excelente calidad.

Condensadores. En el diseño inicial del prototipo existen 3 condensadores los cuales están ubicados en distintas zonas del sistema y tienen así mismo, distintas funciones. Estarán sujetos a prueba y funcionan con el mismo principio de los calderines, pero serán usados para enfriar los vapores y convertirlos a su estado líquido. Su ubicación es externa a la torre y en la parte superior y a los costados de ella.

Alimentación

Vapor de agua. Es el elemento utilizado para el aumento de temperatura de los calderines y mediante una transferencia de calor como en los intercambiadores de calor

ocurre un posterior incremento de temperatura del fermento hasta llegar a su punto de ebullición. Se lo toma del caldero externo al prototipo.

Agua. Este fluido es usado como refrigerante para poder enfriar la torre en sus partes críticas como en la parte superior y a la salida del alcohol etílico. Sirve para obligar al vapor de etanol a enfriarse y convertirse al etanol en estado líquido.

Fermento. Es el que obtenemos a partir del jugo de la caña de azúcar. Es una mezcla no refinada de agua y etanol obtenida por la digestión del jugo de caña de azúcar por parte de microorganismos hallados en la levadura. Se produce a una temperatura de 30 °C y en un lapso entre 12 y 24 horas. Este es el fluido de alimentación base del cuál se obtendrá el alcohol una vez realizado el proceso de destilación.

Electricidad. Esta fuente de alimentación está destinada a los sensores, actuadores eléctricos, los dispositivos de control que se van a implementar en el sistema por lo que esencial para poder implementar la automatización de este proceso. Se toma de la red eléctrica y se lo transforma a las necesidades energéticas de cada dispositivo por medio de transformadores y reguladores adicionales.

Control

Los elementos de control son elementos de adquisición de señales desde los sensores y procesamiento de estas señales para poder ejercer un procesamiento y tomar decisiones de control y ejercerlas a través de los actuadores.

PLC. Es el encargado de recibir los datos de temperatura a través de los módulos de los sensores de temperatura RTD y está ubicado en un riel DIN dentro de la caja de control.

Siemens LOGO! 230 RCE. El módulo Siemens LOGO! 230RCE que lo podemos ver en la figura 9 es un módulo lógico programable inteligente el cual es usado para proyectos de automatización para implementación de control y maniobra por su montaje sencillo, mínimo cableado y fácil programación.

Figura 9

Módulo Siemens LOGO! 230RCE



Nota. En la figura se puede apreciar una imagen del módulo Siemens LOGO! 230RCE el cuál presenta 8 entradas digitales y 4 salidas tipo relé. Tomado de *Hoja de datos LOGO! 230RCE* por Siemens,2023.

Las características de este módulo las hallamos en la página del fabricante (Siemens, 2023) y son las siguientes:

- Alimentación: 115V 240V AC/DC
- Con display: si
- Montaje: sobre perfil normalizado de 35 mm
- Frecuencia: 47-63 Hz
- No. entradas digitales: 8
- No. salidas: 4 tipo relé
- Temperatura de servicio: -20°C a 70°C
- Dimensiones: 71.5x90x60 mm
- Expansión modular
- Comunicación Ethernet

- Tarjeta microSD estándar
- Servidor Web Integrado
- Registro de Datos

Gracias a que este tiene una característica que es la expansión modular se puede ampliar el número de entradas y aumentar entradas analógicas que es lo que se necesita para el uso de los sensores de temperatura RTD y evitar problemas de lecturas erróneas.

Módulo AM2 RTD. Este es un módulo el cual permite ampliar las entradas del módulo lógico programable Siemens LOGO! 230RCE aumentando entradas analógicas, el cual se puede apreciar en la figura 10, estas entradas adicionales están perfectamente acondicionadas para los sensores de temperatura o termorresistencias RTD que vamos a usar para implementar el control de temperatura del prototipo, las características de estos módulos las encontramos directamente del fabricante (Siemens, 2023) y son las siguientes:

- Alimentación: DC 12/24V
- Entradas: 2 Analógicas, conexiones a 2 o 3 hilos
- Temperatura de servicio: -20°C a 55°C
- Rango de medición: -50°C a 200°C
- Pt100/1000 para LOGO! 8
- Protección: IP20
- Dimensiones: 25.5x90x58 mm

Figura 10

Módulo AM2 RTD para LOGO! 230RCE



Nota. En la figura se puede apreciar una imagen del módulo de amplificación Siemens LOGO! AM2 RTD el cuál presenta 2 entradas analógicas para sensores de temperatura RTD. Tomado de *Hoja de datos módulo ampl. LOGO! AM2 RTD* por Siemens,2023

HMI. La Interfaz Humano-Máquina (Human-Machine interface) es un panel o pantalla que nos permite comunicarnos con la máquina o sistema que necesitamos usar. Normalmente se lo utiliza en entornos industriales debido a que existen máquinas que un operario no se puede acercar a para poder manipular y por ello, estos HMI se los programa para hacerlo a una distancia segura.

HMI Kinco GL070e. Kinco es una marca de la empresa Kinco Electric (Shenzhen) Ltd. de origen chino, la cual en su relación costo/rendimiento ha sido muy buena de acuerdo con varios usuarios los cuales la han usado para varios propósitos. Vemos las características de este HMI:

Temperatura de operación: GL070E HMI puede funcionar establemente en entornos industriales con una temperatura entre 32 °F y 122 °F (0~50 °C).

Clasificación NEMA: el panel frontal de esta serie HMI tiene clasificación NEMA1

Voltaje de entrada: DC10V-DC28V

Conexiones:

- USB HOST: Conéctese con dispositivos de interfaz USB o discos U
- USB SLAVE: El puerto USB Slave se puede conectar con una PC
- ETHERNET: Con cable UTP CAT5 conectado al dispositivo Ethernet.

Figura 11

Pantalla Kinco GL070E HMI



Nota. Imagen referencial de la pantalla Kinco GL070E que se usará en el proyecto.

Obtenido de *Kinco GL070/GL070E HMI Installation Instruction* por Kinco Electric Ltd, 2022.

Fuente de alimentación. Esta fuente es un dispositivo que convierte el voltaje nominal de la red de 120Vac a un voltaje menor para el uso de aparatos que requieren un voltaje menor. Su salida es de 12Vdc con una corriente de 2A.

Figura 12

Fuente de alimentación de 12V



Nota. Se muestra la fuente de alimentación de 12V a 1A. Tomado de *Fuente de Poder para CCTV 12V 2A* por DCIM Ecuador, s.f.

Regulador de voltaje. Es un dispositivo diseñado para la protección de aparatos eléctricos en redes con problemas en su alimentación como variaciones de tensión, caídas de voltaje o sobrevoltajes. En este dispositivo se conectan aparatos eléctricos, en este caso configurados a 110V tal como lo suministra los transformadores comunes en nuestro país.

Tiene una entrada de voltaje de 90-140 Vac a una frecuencia de 60 Hz y su salida es a un voltaje nominal de 120 Vac a una frecuencia de 60 Hz con 8 tomas.

Figura 13

Regulador De Voltaje 1000va Propc1000



Nota. Se muestra el regulador de voltaje usado en el proyecto. Tomado de *Ficha técnica Powest Propc1000* por POWEST, 2019.

Capítulo III

Diseño e Implementación del sistema

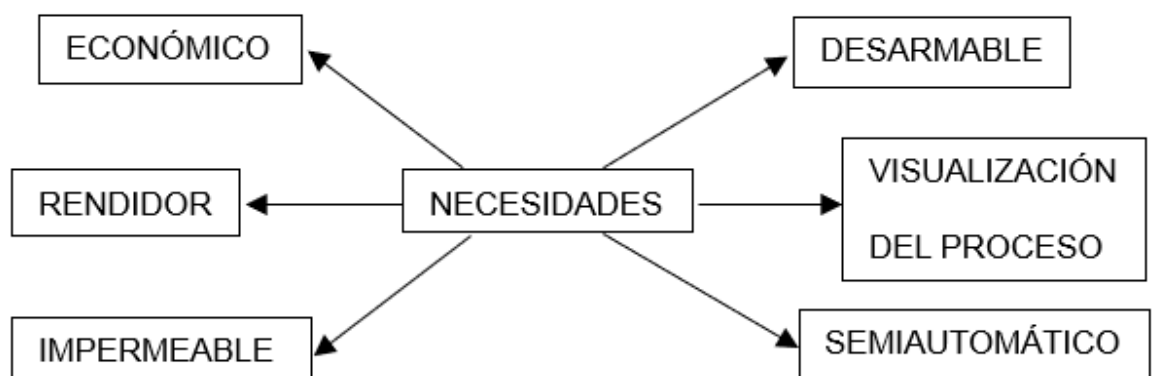
Especificaciones de diseño

Las especificaciones de diseño están estrechamente realizadas de acuerdo con los requerimientos de la empresa, las cuales ya identificaron las necesidades que tienen para este prototipo y para satisfacer los estándares de calidad del producto que pretenden obtener mediante el uso de esta máquina y nos han presentado al iniciar con el proyecto

Los elementos que se usarán serán escogidos con la ayuda de matrices de selección, las cuales al evaluar parámetros de selección que nos hemos propuesto cubrir de acuerdo con las necesidades planteadas, nos ayudarán a escoger con una mayor claridad los dispositivos adecuados para el proyecto. Estas matrices se las presentarán divididas en subsistemas del prototipo de acuerdo con la función de cada una, el trabajo conjunto con otras funciones, entre otras características. A continuación, se expondrán las necesidades de la empresa.

Figura 14

Necesidades de la empresa



Nota. Se presentan las necesidades expuestas por la empresa para su prototipo.

A continuación, se detallan las necesidades de la empresa:

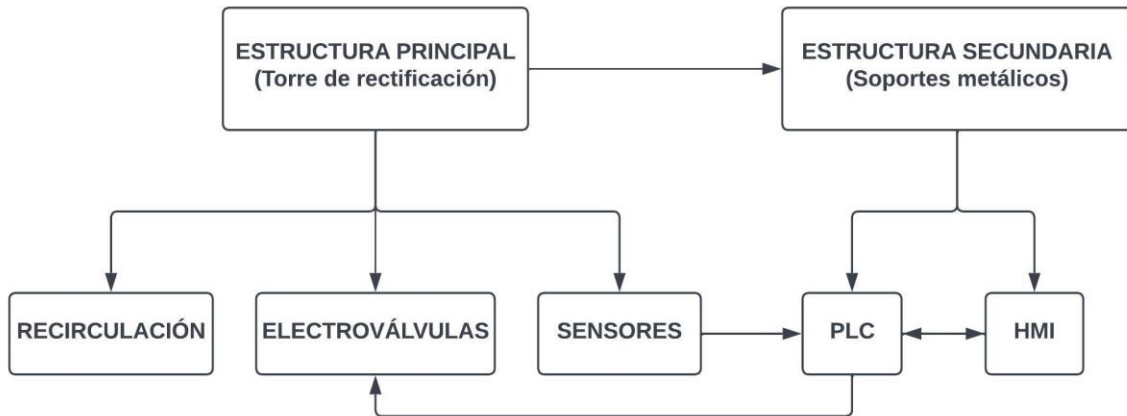
- **Económico:** El valor total del prototipo no debe ser elevado y debe estar en el rango permisible de la empresa para desarrollo de proyectos por lo que se usarán materiales que la empresa posea en bodega siempre y cuando sea posible.
- **Rendidor:** El prototipo debe cumplir con el rendimiento esperado en cuanto a cantidad de alcohol producido a partir de cantidad de fermento usado para tal producción.
- **Desarmable:** El prototipo debe ser desarmable para poder trasladarlo de planta a planta según el lugar en el que se encuentre lleno de caña de azúcar para su procesamiento según las temporadas de cosecha.
- **Impermeable:** El prototipo debe ser capaz de contrarrestar la humedad ya que el lugar en el que va a ser instalado se encuentra en la intemperie y pueden dañarse los implementos eléctricos y electrónicos.
- **Visualización del proceso:** La empresa requiere que el proceso se pueda observar en una pantalla en tiempo real para poder recoger datos de tiempo y temperatura que les servirá para mejorar su proceso.
- **Semiautomático:** El proceso debe ser semiautomático ya que tendrá que ser una destilación por baches por la dificultad de alimentar constantemente el prototipo de fermento debido a la escasa cantidad de fermento disponible en este sector.

Arquitectura del diseño

La arquitectura del diseño del prototipo es basada en una estructura principal (torre de rectificación) sobre la cual se implementarán el resto de los subsistemas para que trabaje el proceso de destilación, tal como podemos observar en la figura 15, además de un subsistema paralelo en el cual se montarán los sistemas de control del prototipo.

Figura 15

Arquitectura de diseño del prototipo



Nota. Se muestra la arquitectura de diseño de la estructura del prototipo en el cual está la estructura principal y la secundaria en las cuales se montan el resto de los subsistemas.

En la figura anterior se aprecia que en la estructura principal se montarán los tubos de recirculación, las electroválvulas y los sensores para las medidas de temperatura, además, en la estructura secundaria se procede a implementar el sistema de control que está compuesto por el PLC y el HMI.

Como lo mencionamos anteriormente, cada subsistema va a ser conformado por partes y equipos, los cuales serán escogidas mediante matrices de selección que cumplan los parámetros y las necesidades de la empresa.

Descripción de hardware

A continuación, se revisará a detalle los elementos presentes en el prototipo para su automatización. Se describe a breves rasgos su funcionamiento, materiales, y las razones de haber escogido los distintos sensores y actuadores, así como el PLC y el HMI para realizar el control del proceso que realizará el prototipo.

Los elementos por detallarse son los siguientes:

- Estructura
 - Sistema de destilación
 - Sistema estructural de cableado y control
- Equipos de control
 - PLC
 - HMI
 - Módulo analógico
- Sensores
 - Temperatura (RTD)
- Actuadores
 - Electroválvula vapor (Solenoido Cilíndrico)
 - Electroválvulas para temperatura alta (Solenoides)
 - Válvulas manuales
- Elementos de protección
 - Contactor
 - Regulador
 - Fuente de alimentación

Así mismo, se presentará el diseño de la estructura del prototipo y se detallarán los diagramas de conexión de los elementos necesarios para la automatización además de su instalación y su montaje.

Estructura

Diseño estructural torre

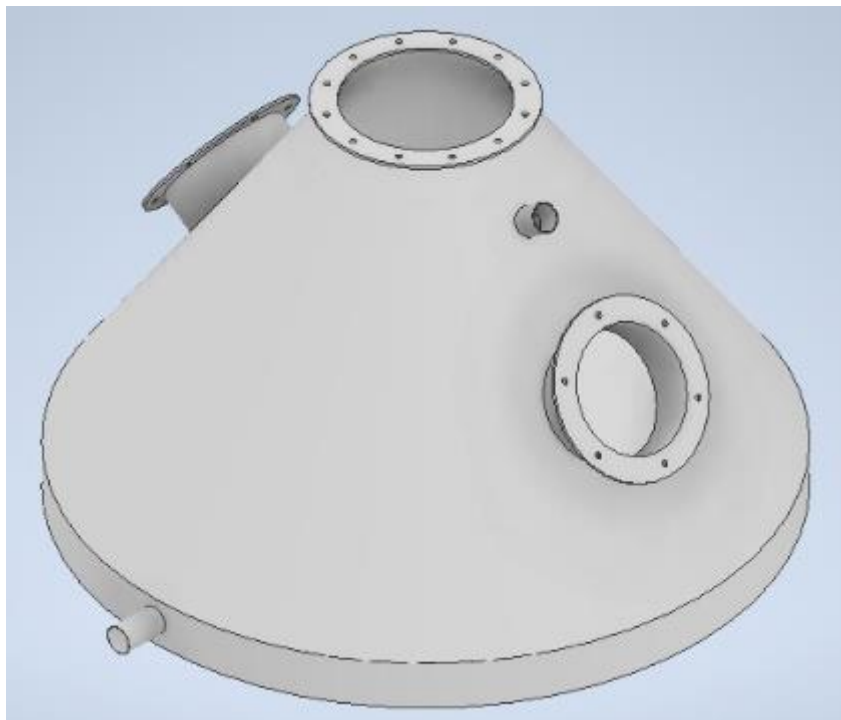
El diseño que se presentará está hecho a partir de los diseños proporcionados por la empresa y solo se procederá a mostrar superficialmente debida a las restricciones impuestas por la empresa a excepción de los diseños propios de los estudiantes en los demás subsistemas.

Diseño Conceptual

Diseño conceptual del sistema de destilación (Olla, torre de rectificación, sistema de recirculación). El diseño de la olla de la torre de destilación se puede observar en la figura 16. Este diseño fue elaborado por la empresa Grupo Pacheco y se basó en las ollas de destilación usadas en los procesos artesanales, mediante los cuales los directivos de esta empresa han aprendido a realizar este proceso de producción.

Figura 16

Diseño de la olla del prototipo



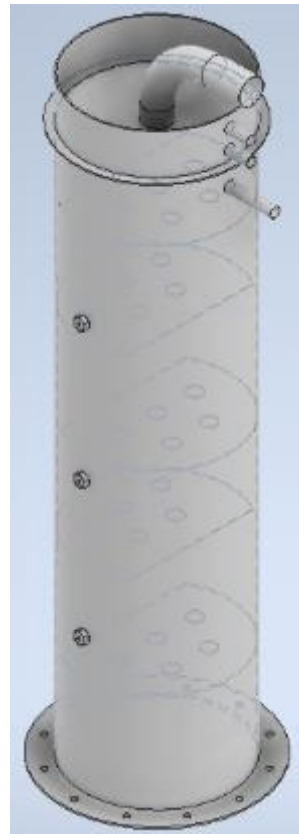
Nota. En la imagen se muestra la vista isométrica del diseño de la olla la cual es parte del proceso de destilación. Este diseño es basado en los diseños para la destilación artesanal de etanol. Tomado de Grupo Pacheco, s/f.

La siguiente parte de la estructura es la torre que forma parte de la etapa de rectificación del proceso, presentada en la figura 17. Esta es una parte esencial para el proceso ya que de

este diseño elaborado por la empresa dependen las propiedades del alcohol que se destilará.

Figura 17

Diseño de la torre de rectificación

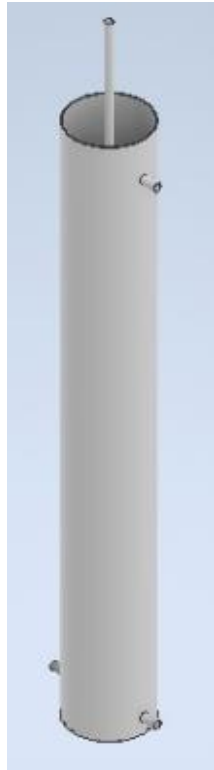


Nota. En la imagen se puede observar la vista isométrica del diseño de la torre rectificadora el cual fue elaborado por la empresa. Tomado de Grupo Pacheco, s/f.

Por último, la parte final del diseño del proceso de destilación es el condensador que se muestra en la figura 18, este elemento es esencial para convertir el vapor de etanol a su estado líquido para no tener pérdidas de etanol al momento de su recolección.

Figura 18

Diseño del condensador final



Nota. En la imagen se presenta la vista isométrica del diseño del condensador final del proceso de destilación, el cuál fue elaborado por la empresa. Tomado de Grupo Pacheco, s/f.

A continuación, en la tabla 1 se presentan las características requeridas del proceso teniendo en cuenta una presentación de los materiales utilizados para su construcción, los elementos necesarios para su funcionamiento y la alimentación requerida para el proceso.

Tabla 1*Características del sistema de destilación*

Características sistema de destilación	
Costo	Medio
Materiales de construcción	Láminas de acero inoxidable Tubos de acero inoxidable Codos de acero inoxidable Empaques térmicos
Elementos necesarios para funcionamiento	Válvulas manuales Acoples universales Neplos de acero inoxidable
Alimentación	Fermento Vapor
Consumo eléctrico	Nulo
Plan de mantenimiento	Mantenimiento correctivo en caso de presentar fugas en las uniones

Nota. Esta tabla nos muestra las características requeridas para la construcción del sistema de destilación.

Materiales y herramientas necesarios

Se debe tener material de grado alimenticio para garantizar la calidad y eficiencia del proceso, pues el fermento utilizado es susceptible al ambiente y otros microorganismos. Además, se debe considerar factores de temperatura máxima alcanzada y la naturaleza química del líquido que será destilado.

De este modo consideramos dos clases de acero como las mostradas en la tabla 2:

Tabla 2

Tabla de comparación de materiales de grado alimenticio

	AISI 304 (Serie 300)	AISI 316 (Serie 300)
Composición química	18% Cr, 8% Ni	16-18% Cr, 10-14% Ni, 2% Mo
Resistencia a la corrosión	Buena resistencia en ambientes moderadamente corrosivos y oxidantes	Excelente resistencia en ambientes corrosivos y expuestos a cloruros
Tolerancia al calor	Buena hasta 870°C (1600°F)	Buena hasta 925°C (1700°F)
Resistencia al desgaste	Moderada	Mayor resistencia debido al molibdeno
Aplicaciones comunes	Equipos de cocina, aplicaciones arquitectónicas, médico	Equipos marinos, industria química, y procesamiento de alimentos
Resistencia a la corrosión bajo tensión	Buena	Excelente debido al contenido de molibdeno
Soldabilidad	Excelente	Excelente
Formalidad	Buena	Buena

		AISI 304 (Serie 300)	AISI 316 (Serie 300)
Limpieza y mantenimiento		Fácil	Fácil
Precio relativo		Menos costoso que AISI 316	Generalmente más costoso que AISI 304

Además de estas características técnicas se ha considerado aspectos de diseño, fabricación y facilidad de limpieza, el grosor adecuado del material ayudara a resistir la corrosión y el desgaste, además de facilitar la distribución uniforme del calor durante el proceso de destilación.

El acero inoxidable AISI 316 es resistente a la corrosión, no reacciona químicamente con el alcohol y es fácil de limpiar, lo que lo vuelve una opción ideal para equipos de destilación como alambiques y columnas de destilación.

Para soldar este tipo de material se recomienda un proceso que sea adecuado para mantener su resistencia a la corrosión y sus propiedades mecánicas. El proceso de soldadura TIG o GTAW son comúnmente utilizados para la soldadura de acero inoxidable por las siguientes características

Tabla 3

Características de soldadura TIG y MIG

Aspecto	Proceso TIG (GTAW)	Proceso MIG (GMAW)
Control de calor	Control preciso de la temperatura y energía de soldadura	Menor control de la temperatura; más propenso al sobrecalentamiento
Calidad del acabado	Alta calidad de la soldadura; cordones limpios	Calidad variable dependiendo de la habilidad del soldador

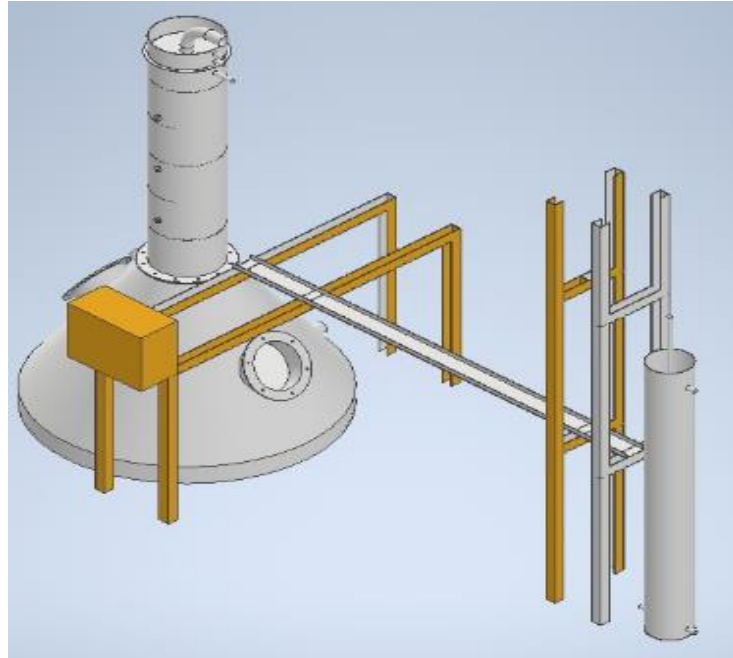
Aspecto	Proceso TIG (GTAW)	Proceso MIG (GMAW)
Penetración	Penetración profunda posible	Penetración más superficial
Gas de protección	Gas inerte (como argón)	Mezcla de gases inertes y activos
Contaminación del metal	Mínima contaminación debido a gas inerte	Posible contaminación debido a gases activos
Habilidad requerida	Mayor habilidad y experiencia requeridas	Menor habilidad requerida, pero aún se requiere cierta destreza
Aplicaciones críticas	Ideal para aplicaciones donde la calidad es crucial	Adecuado para aplicaciones menos críticas
Velocidad de soldadura	Generalmente más lento	Generalmente más rápido
Espesor del material	Adecuado para una amplia gama de espesores	Generalmente mejor para materiales más gruesos
Equipamiento requerido	Más sofisticado (antorchas TIG, fuente de alimentación)	Menos sofisticado (antorchas MIG, fuente de alimentación)
Costo de equipo y consumibles	Generalmente más alto	Generalmente más bajo

El proceso TIG permite un control muy preciso sobre la temperatura y la energía de soldadura, lo que ayuda a evitar la distorsión y el sobrecalentamiento del metal. Los cordones producidos son más limpios y de alta calidad, lo que es especialmente importante para aplicaciones donde la higiene es importante y el gas inerte ayuda a mantener la integridad de la composición química del material evitando la formación de inclusiones no deseadas, además se proporciona una buena penetración en las uniones beneficiando la resistencia mecánica del material.

Diseño conceptual del sistema estructural de cableado y control. En la figura 19 se puede apreciar cómo sería la disposición de esta estructura mediante su representación isométrica.

Figura 19

Diseño del sistema estructural de cableado y control



Nota. Se muestra una vista isométrica del diseño del sistema estructural de cableado y control.

Como se puede apreciar la estructura está pensada para poder realizar un ruteado de los cables de alimentación y señal de los sensores ubicados en el la olla y la torre de rectificación y los cables de las electroválvulas las cuales están ubicados en la entrada de los calderines internos de la olla y en los tubos de recirculación, por ello se muestra la estructura que abarca de un lado a otro del prototipo y se centra en un soporte colocado al frente de la estructura principal, este soporte tendrá colocado un tablero de control dentro de una caja.

Tabla 4*Características de la estructura de Cableado y Control del prototipo*

Características sistema estructural de cableado y control	
Costo	Barato
Materiales de construcción	Perfiles en C de aluminio Caja de control Pernos para sujeción al suelo
Elementos necesarios para funcionamiento	Cables de electroválvulas Cables para RTD PLC HMI Regulador de voltaje Fuente de alimentación
Alimentación	110V AC
Consumo eléctrico	Bajo
Plan de mantenimiento	Mantenimiento Correctivo en caso de presentar fallos

Nota. Esta tabla nos muestra las características requeridas para la construcción de la estructura que va a soportar el cableado de los sensores y actuadores, además del sistema de control del prototipo.

Construcción de la estructura

Empezamos por construir los elementos del sistema necesarios para la destilación, es decir tanques, tuberías y la torre de destilación en si misma. El material para construir todo el sistema será acero inoxidable de grado alimenticio

Todo el sistema será creado desde cero puesto que no se comercializa tuberías de este material además de que el sistema requiere trabajar con medidas y parámetros específicos de la empresa para alcanzar el punto óptimo de destilación

Con estas consideraciones se adquiere tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada para el sistema de retroalimentación del alcohol y chapa metálica de acero inoxidable para formar la torre de destilación, la olla y el sistema de condensación

Se corta el patrón de las mencionadas estructuras y luego se da forma mediante curvado, soldamos mediante soldadura de arco y comprobamos que no existan fugas entre las juntas

Equipos de control

Para el control de este proyecto se planteó usar un controlador lógico programable y una pantalla para una interfaz humano-maquina, según las necesidades y complejidad del proyecto se ha propuesto trabajar con un LOGO! 8 y un HMI de la marca Kinco.

PLC

El LOGO! 8 es un controlador pequeño y económico, que es propicio para la cantidad de sensores y actuadores del sistema.

Este ha sido diseñado para ser fácil de programar, el software usando para esto es LOGOSoft Comfort perteneciente a Siemens que es de uso gratuito. Es fácil de integrar con diferentes marcas y tipos de pantallas HMI por medio de un puerto de red Ethernet

HMI

La interfaz HMI permitirá monitorear y controlar los dispositivos y el proceso de automatización de forma eficiente, entre sus funciones está el almacenar y registrar un histórico de datos para un análisis posterior y una mejor comprensión del rendimiento del sistema.

Existen diferentes tamaños de pantallas dentro del marca que son compatibles con LOGO! 8, se ha escogido el tamaño de esta según los requerimientos de la empresa que busca una pantalla táctil para tener un control rápido con alertas en tiempo real y que sea fácil de manipular.

Gracias a que cuenta con protocolos de red Ethernet puede comunicarse directamente con el controlador LOGO! 8

Módulo analógico

AM2 RTD. Es un módulo de amplificación que permite la conexión y el procesamiento de señales de sensores RTD para medir y controlar la temperatura en aplicaciones de automatización que utilizan el controlador LOGO! de Siemens.

Tabla 5

Cotización de elementos eléctricos

Cant	Producto	Valor unitario	Valor final	Vendedor	Teléfono	Dirección
1	Hmi 7"	\$220	\$220	EST Electrical Solution Team	0987276317	Sur de Quito
2	Modulo AM 2 RTD	\$131	\$262	Ingelcom	(02)2416996	Av. 6 de diciembre y Samuel Fritz

Nota. La tabla nos muestra la cotización de los materiales que se requieren para el desarrollo del proyecto

Envío y visualización de datos

Se diseño y programo todo el sistema automático de control en LOGOsoft, el esquema de control considera los actuadores y sensores del sistema, pero además se colocará las entradas virtuales que provienen del HMI para que el controlador sea activado mediante la interfaz gráfica.

La interfaz antes mencionada se diseña dentro del programa de la marca del HMI que está diseñado para crear y programar los modelos propios de la compañía que fabrica estos HMI, en dicho programa armamos un panel de control con botones y pilotos que nos permitan ver cómo va el proceso en tiempo real.

Sensores

En el sistema planteado, lo más importante es controlar la temperatura por lo que se adquirió cuatro sensores de temperatura que sean óptimos para trabajar en condiciones de presión, calor y humedad. Se considero las siguientes opciones de sensores de temperatura:

Tabla 6

Características de sensores de temperatura

Tipo de Sensor	Rango de Temperatura	Precisión	Respuesta	Ventajas	Desventajas
RTD PT100	-200°C a +850°C	Alta	Lenta	Alta precisión, linealidad y estabilidad	Costo comparativamente más alto
Termopar (Tipo K)	200°C a +1260°C	Buena	Rápida	Amplio rango, respuesta rápida, versatilidad	Precisión puede verse afectada por interferencias
Termistor (NTC)	-50°C a +150°C	Buena	Rápida	Económico, tamaño compacto, respuesta rápida	No es lineal, requerirá calibración
Termistor (PTC)	-50°C a +150°C	Buena	Rápida	Cambio abrupto de resistencia a una temperatura	No es lineal, requerirá calibración

Temperatura (RTD)

El RTD PT100 mide la temperatura en diferentes etapas del proceso de destilación, como la temperatura del reflujo, la temperatura en los platos de destilación y la temperatura en la parte superior e inferior de la columna. Estas mediciones son esenciales para monitorear y controlar el proceso de destilación y asegurar que las temperaturas se mantengan dentro de los rangos deseados

Las mediciones de temperatura del RTD PT100 se utilizan para controlar el proceso de destilación. Si la temperatura en un punto específico se desvía del valor deseado, el sistema de control puede tomar medidas correctivas, como ajustar la potencia del calentador o el flujo de reflujo, para mantener la temperatura en el rango objetivo.

El RTD PT100 también cumple una función de seguridad al detectar situaciones anormales, como sobrecalentamientos o fluctuaciones de temperatura que podrían indicar problemas en el proceso. Si se detecta una temperatura fuera de los límites seguros, el sistema de control puede activar alarmas y tomar medidas para prevenir daños al equipo o al proceso.

Actuadores

El flujo del vapor de alcohol tanto como el alcohol condensado en el proceso de recirculación y recolección del sistema es lo más importante a controlar en el sistema para que sea óptima la obtención de grado alcohólico, para esto se consideró trabajar con electroválvulas que puedan funcionar en condiciones de temperatura y presión altas.

Electroválvula vapor (Solenoido Cilíndrico)

Las electroválvulas de solenoide para vapor funcionan mediante el uso de un solenoide electromagnético. Cuando se aplica una corriente eléctrica al solenoide, este crea

un campo magnético que activa o desactiva una válvula interna. Esta válvula controla el flujo de vapor permitiendo o bloqueando su paso a través de la tubería.

Se requiere válvulas que se puedan operar a distancia y se activen con una señal eléctrica, de este modo es que se ha pensado en adquirir electroválvulas activadas por solenoide que estén diseñadas especialmente para el flujo de vapor de vapor.

Tabla 7

Condiciones de trabajo del solenoide

N° de posiciones	Infinitas
Alimentación	24DC-110AC
Señal de control	4-2 mA +-10V
Presión Max	150 bar
Tamaño	$\frac{3}{4}$ o 1 pulgada

Nota. La tabla muestra las condiciones de trabajo requeridas para la operación de las electroválvulas en el prototipo.

Válvulas manuales

Las válvulas de un sistema de alimentación de vapor deben ser capaces de soportar tanto las altas temperaturas como las presiones asociadas con el vapor, deben estar hechas de materiales resistentes al calor y a la corrosión. Además, se busca que sea hermética en el cierre, para evitar pérdida de energía y garantizar la seguridad del sistema.

Tabla 8

Características de las válvulas

Características	Válvula de Globo	Válvula de Compuerta	Válvula Mariposa
Tipo de Válvula	Lineal	De disco	Rotativa
Control de Flujo	Excelente	Limitado	Bueno
Pérdida de Presión	Moderada	Baja	Baja
Cierre Hermético	Sí	No	No
Respuesta Rápida	Sí	No	Sí
Tamaño de Paso	Reducido	Amplio	Amplio
Aplicaciones	Control de flujo preciso, regulación	Aplicaciones de encendido/apagado, aislamiento	Control de flujo, aplicaciones de encendido/apagado
Material de Construcción	Diversos materiales disponibles	Diversos materiales disponibles	Diversos materiales disponibles
Clasificación de Presión	Generalmente alta	Variada	Variada
Automatización	Posible	Posible	Posible
Mantenimiento	Puede ser más complicado	Generalmente sencillo	Generalmente sencillo
Costo	Moderado	Moderado	Bajo a moderado

Montaje de los sensores y actuadores

Una vez tenemos armado el sistema de destilación vamos a montar sobre este los elementos que nos permitan automatizar el sistema, siendo estos tanto sensores como actuadores.

Para poder controlar el sistema de forma eficiente se han colocado sensores de temperatura PT100 en la olla y a lo largo de la torre de destilación, mientras que para el control del flujo de vapor tanto en el sistema de recirculación de alcohol, así como a nivel de los calderines se colocó electroválvulas diseñadas para vapor que funcionan con 110v.

El montaje de estos componentes se hace directamente en los elementos del sistema, en la torre de destilación y en la olla se ha perforado en el costado un acceso para el termopar que se sujeta mediante un acople hermético, mientras que las electroválvulas se ubican en las tuberías del sistema por acoples roscados donde se ha colocado material aislante para evitar que las uniones tengan algún tipo de fuga. Todo el cableado pasara a través de canaletas que han sido montadas para que se pueda peinar todos los cables de forma adecuada hacia la caja de control y estos se encontraban dentro de manguera corrugada para no estar expuestos directamente a la intemperie.

Figura 20

Sensor de temperatura RTD



Nota: La imagen muestra el sensor de temperatura que realiza su trabajo variando la resistencia mientras varía la temperatura.

Elementos de protección

Al momento de montar un tablero eléctrico de control, se debe implementar diversas medidas de protección eléctrica para garantizar la durabilidad del circuito, el funcionamiento confiable y la prevención de posibles fallos

Interruptor de Circuito Breaker

Estos dispositivos protegen contra sobrecargas y cortocircuitos al interrumpir el flujo de corriente eléctrica cuando se excede una corriente predeterminada. Existe diferentes capacidades nominales y son la principal protección para casos de corriente excesiva.

Para elegir uno de estos interruptores consideraremos los siguientes puntos:

Corriente Nominal (I_n)

La corriente nominal es la corriente máxima que el breaker puede llevar continuamente sin dispararse. Debe seleccionarse de acuerdo con la carga máxima esperada en el circuito. Si la corriente nominal del breaker es menor que la corriente de carga máxima, el breaker podría dispararse constantemente.

Capacidad de Interrupción (I_C)

La capacidad de interrupción es la corriente máxima que el breaker puede interrumpir de manera segura en caso de un cortocircuito. Debe ser igual o mayor que la corriente de cortocircuito disponible en el punto de instalación del breaker. Si la capacidad de interrupción es insuficiente, el breaker podría no ser capaz de extinguir un cortocircuito de manera segura.

Tipo de Circuito (AC o DC)

En este caso el sistema se alimenta con corriente AC, por lo que bastara escoger un breaker de una solo fase para corriente alterna.

Características de Disparo

Los breakers pueden tener diferentes características de disparo, como características térmicas y magnéticas. Las características térmicas protegen contra sobrecargas prolongadas, mientras que las magnéticas actúan en cortocircuitos instantáneos. Se ha seleccionado un breaker con disparador magnético pues debido al sistema es más conveniente.

Tamaño y Espacio

En este caso se utiliza un riel DIM para montar los componentes en el tablero por lo que el interruptor será del mismo tipo y medida que los demás componentes que encajan en el riel.

Regulador

Se colocará un regulador de corriente para limitar la cantidad de corriente que fluye a través de los componentes, evitando sobrecargas y reduciendo el daño que se puede dar por calor excesivo.

Fuente de alimentación

Ya que el módulo HMI funciona con corriente DC a un voltaje específico de 12v, se utilizará una fuente de alimentación que proporcione ese voltaje y un rango adecuado de corriente para el funcionamiento de este.

Conexiones eléctricas

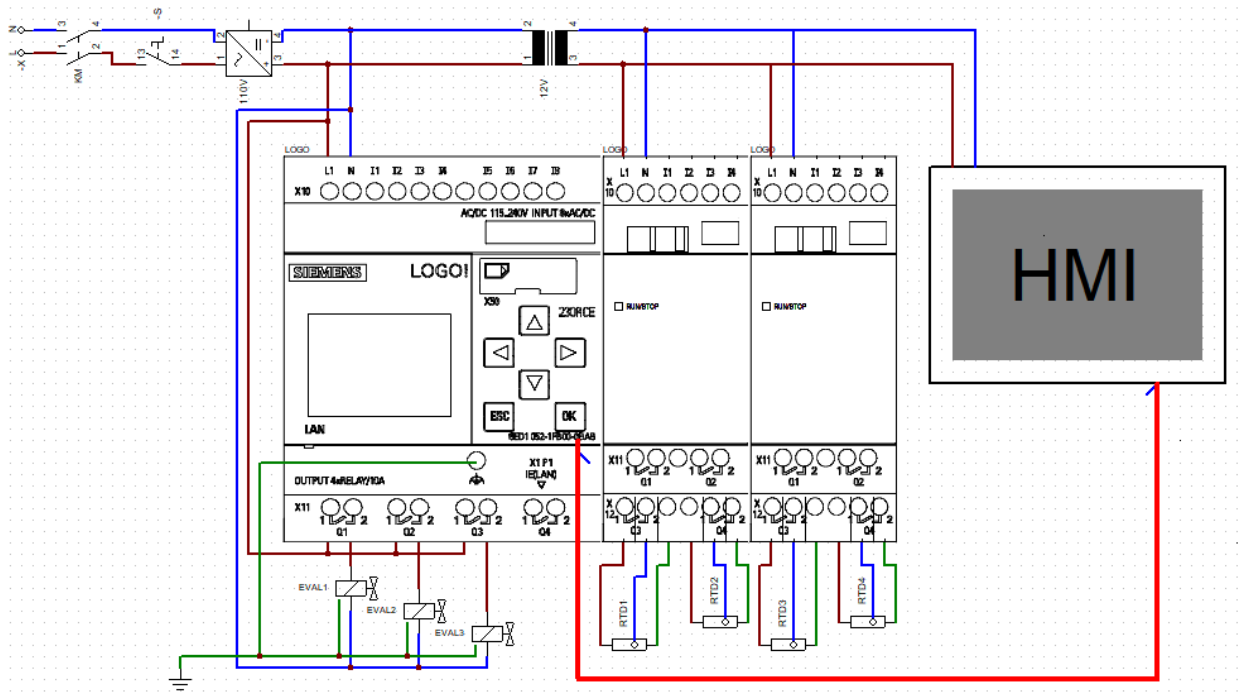
Dentro del panel de control colocaremos los elementos que permiten energizar y controlar todos los elementos del sistema, así como los elementos de monitorización, empezamos colocando un riel DIM donde se colocara el controlador LOGO 8, los módulos de adquisición de temperatura AM2RTD y un disyuntor termomagnético.

A continuación, ingresamos una toma de alimentación seguido de un regulador de voltaje que alimentaran todo el sistema con corriente alterna.

Finalmente se coloca un HMI de la marca Kinco para monitorizar y controlar el sistema mediante una interfaz gráfica, este HMI se alimenta con una fuente de 12V y se comunica con el controlador LOGO 8 por un puerto de comunicación TCP/IP.

Figura 21

Esquema de conexión eléctrica



Nota. La imagen presenta el esquema de conexión eléctrica de los dispositivos de control PLC con su conexión ethernet al HMI junto con las electroválvulas y sensores de temperatura RTD junto con su alimentación de 110V y 12V, además de sus protecciones.

P&ID del sistema

A continuación, se muestra el diagrama P&ID del proceso donde podemos presenciar 3 partes notables, la zona donde se calienta el fermento, el sistema de tuberías para la recirculación con el posterior vaciado y la zona de condensación.

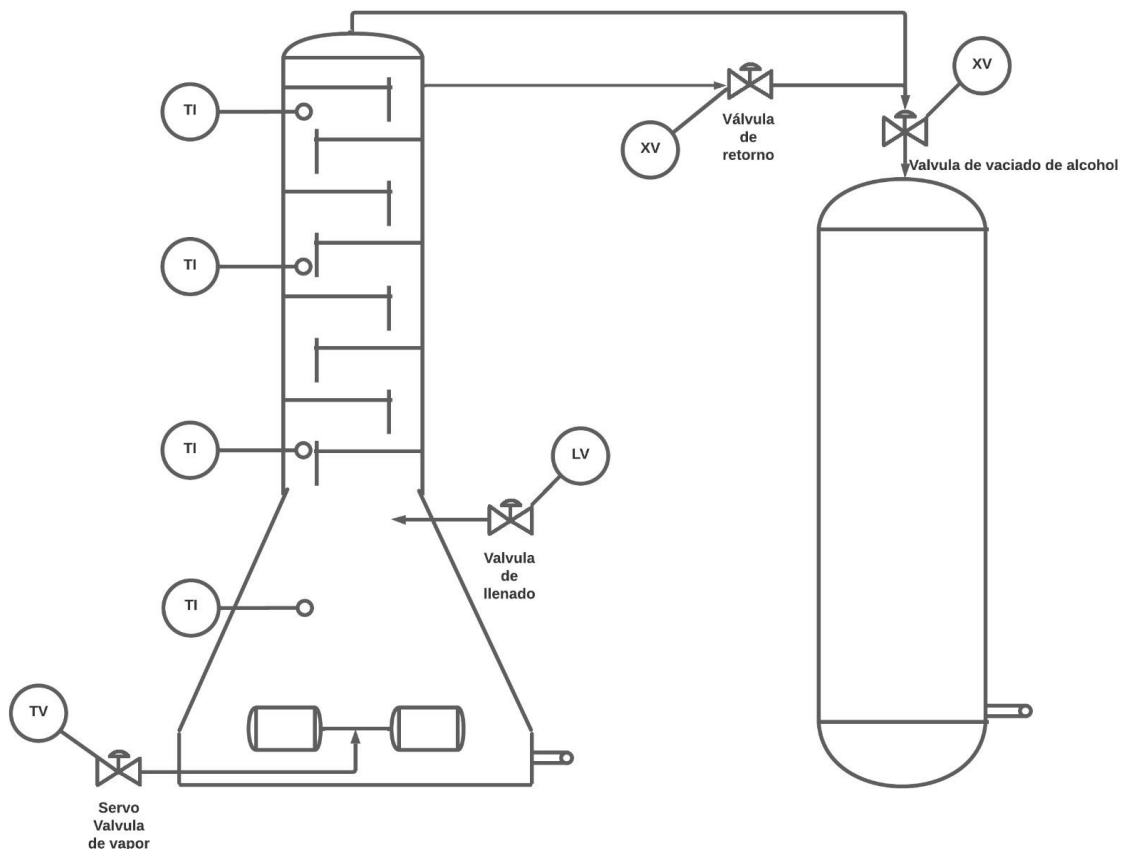
En la primera zona vamos a contar con los sensores de temperatura para monitorear y controlar el proceso, así como una válvula que permite controlar la entrada de vapor hacia los calderines que se ubican dentro de la olla.

En la zona de las tuberías tenemos dos válvulas para controlar el flujo del vapor de alcohol y que además conectan la zona de ebullición a la zona de condensado.

En la última zona la tubería por donde se vacía el vapor de alcohol pasa por dentro de un cilindro que estará lleno de agua en constante flujo para absorber el calor a la salida permitiendo la condensación.

Figura 22

Diagrama P&ID del prototipo



Nota. En la imagen se muestra el diagrama P&ID final del prototipo.

Como se muestra en el diagrama P&ID, el sistema consta de un control de temperatura mediante el uso de sensores y válvulas, los símbolos son explicados en la tabla 9.

Tabla 9

Símbolos del diagrama P&ID

SIMBOLO	SIGNIFICADO
XV	Válvula de paso para vapor
TI	Indicador de temperatura
TV	Válvula para control de temperatura
LV	Válvula para el control de nivel

Programas usados para programación del PLC y HMI

Los programas necesarios para proceder a la programación del PLC es el LOGO Soft en su versión V8.3, la cual es compatible con el LOGO! 230RCE. En cuanto al HMI se va a utilizar en programa KINCO DTools V4.1.0. que es la última versión de este software para programar los HMI Kinco, en concreto, para el modelo que vamos a utilizar.

LOGO Soft V8.3

LOGOSoft V8.3 es el software de programación para PLC LOGO! que soporta pequeños proyectos en el campo de la automatización los cuales requieren una configuración y operación simples e intuitiva.

A continuación, se presentan las novedades del LOGO Soft V8.3 en comparación a sus versiones anteriores hallados en la página oficial de su fabricante (Siemens, 2021):

- Transferencia del programa al LOGO! 8.3 con codificación TLS.

- Transferencia del programa al LOGO! 8.3 con seguridad aumentada mediante contraseña.
- Soporte de pantallas de alta resolución a través de tres factores de zoom ajustables.
- Visualización de calidad para la asignación de la contraseña.
- Representación mejorada para el LOGO! 8 en la selección hardware.
- Asistente para la conexión a la nube.
- Configuración de los datos de la nube usando diálogos conocidos, incluyendo la importación/exportación de la tabla de datos en el archivo CSV.
- Configuración con LOGOSoft Comfort V8.3 del LOGO! TDE V8.3.
- Representación de la visualización TDE en una prueba online.
- Compatible con los equipos LOGO! anteriores.

Requisitos de instalación y entorno de trabajo

Requisitos mínimos del sistema para la instalación de LOGO Soft

V8.3

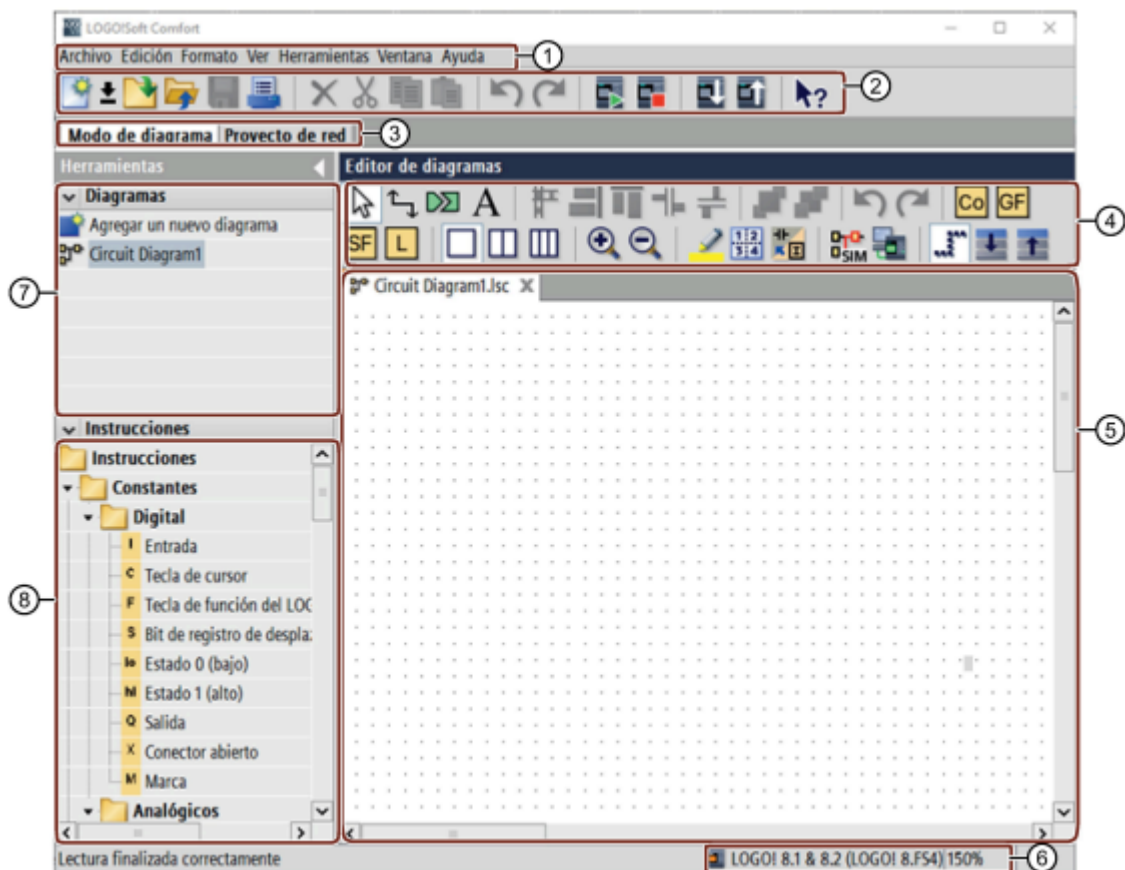
- Windows XP (32 bits), 7 (32/64 bits) u 8 (32/64 bits)
- PC Pentium IV.
- 150 Megabytes de espacio libre en el disco.
- RAM de 256 Megabytes.
- Tarjeta gráfica SVGA con resolución mínima de 800 x 600 (256 colores).

Entorno de trabajo de LOGO Soft V8.3. Para poder relacionarnos con la pantalla de trabajo de LOGO Soft recurrimos a la página del fabricante, que nos dice:

Al abrir el modo de programa de LOGOSoft Comfort aparece un esquema de conexiones vacío. La mayor parte de la pantalla la ocupa el área dedicada a la creación de programas. Esta área se denomina interfaz de programación. En ella se disponen los botones y las combinaciones lógicas del programa. (Siemens, 2021)

Figura 23

Entorno de trabajo LOGOSoft



Nota. Se presenta el entorno de trabajo de LOGO Soft. Obtenido de *Ayuda en pantalla de LOGO!Soft Comfort* por Siemens, 2021.

Tabla 10

Nombres de elementos del entorno de trabajo de LOGO Soft

NÚMERO	VENTANAS
1	Barra de menú
2	Barra de herramientas “Estándar”
3	Barra de modo
4	Barra de herramientas “Herramientas”
5	Interfaz de programación
6	Barra de estado
7	Árbol de esquemas
8	Árbol de operaciones

Nota. Recuperado de *Ayuda en pantalla de LOGO!Soft Comfort* por Siemens, 2021.

KINCO DTools

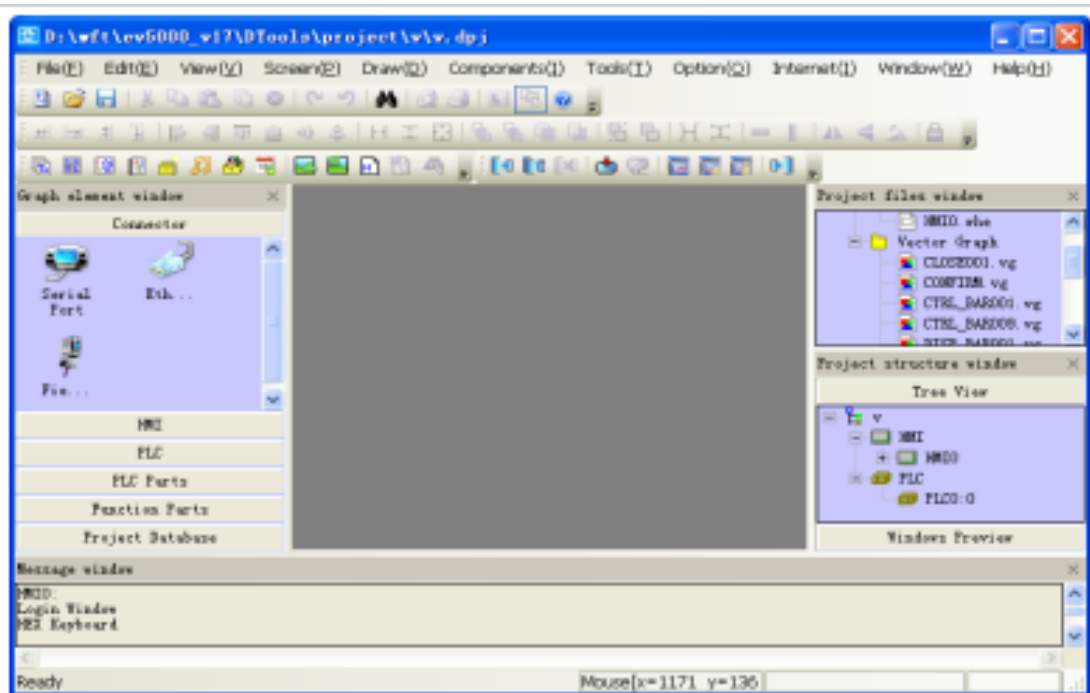
El fabricante nos dice lo siguiente:

El HMI Kinco cuenta con un interfaz de programación simple e intuitiva llamada Kinco DTools para sus HMI de la línea GREEN, este entorno permite diseñar la interfaz visual desde Windows donde es posible crear gráficos y textos para mostrarlos en la pantalla, así también como agregar objetos gráficos tales como botones, luces pilotos, entradas numéricas, indicadores, barras analógicas, menú, entre otros para controlar el PLC. (Kinco Electric (Shenzhen) Ltd., s.f.)

Entorno de trabajo Kinco DTools. En la imagen, se muestra el entorno de trabajo del software de Kinco.

Figura 24

Entorno de trabajo de Kinco DTools



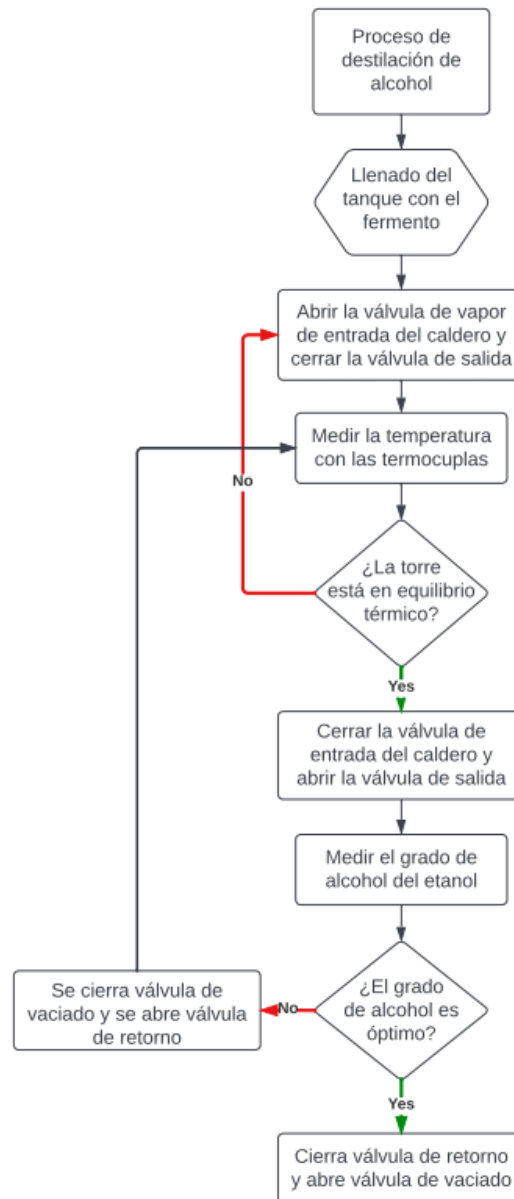
Nota. Se muestra el entorno de trabajo del software Kinco DTool. Obtenido de *Kinco DTools User Manual* por Kinco Electric (Shenzhen) Ltd., s/f.

Diagrama de flujo del programa diseñado e implementado

Se mostrará en la figura 25 el diagrama de flujo seguido para el proceso de destilación de alcohol que empieza con el llenado de la olla con fermento, este se calentara al permitir el flujo de vapor caliente hacia los calderines, una vez alcanzada la temperatura optima se busca mantener este equilibrio controlando el paso de vapor a la entrada de los calderines con una electroválvula, mientras el sistema del intercambiador de calor se mantiene estable la válvula de recirculación de vapor de alcohol se abrirá para mantener el vapor fluyendo hacia el sistema una y otra vez con el fin de concentrarse cada vez más, una vez alcanzado un tiempo considerable se vaciara el alcohol fuera del sistema.

Figura 25

Diagrama de flujo del proceso



Nota. Se muestra el diagrama de flujo base del proceso que va a realizar el prototipo.

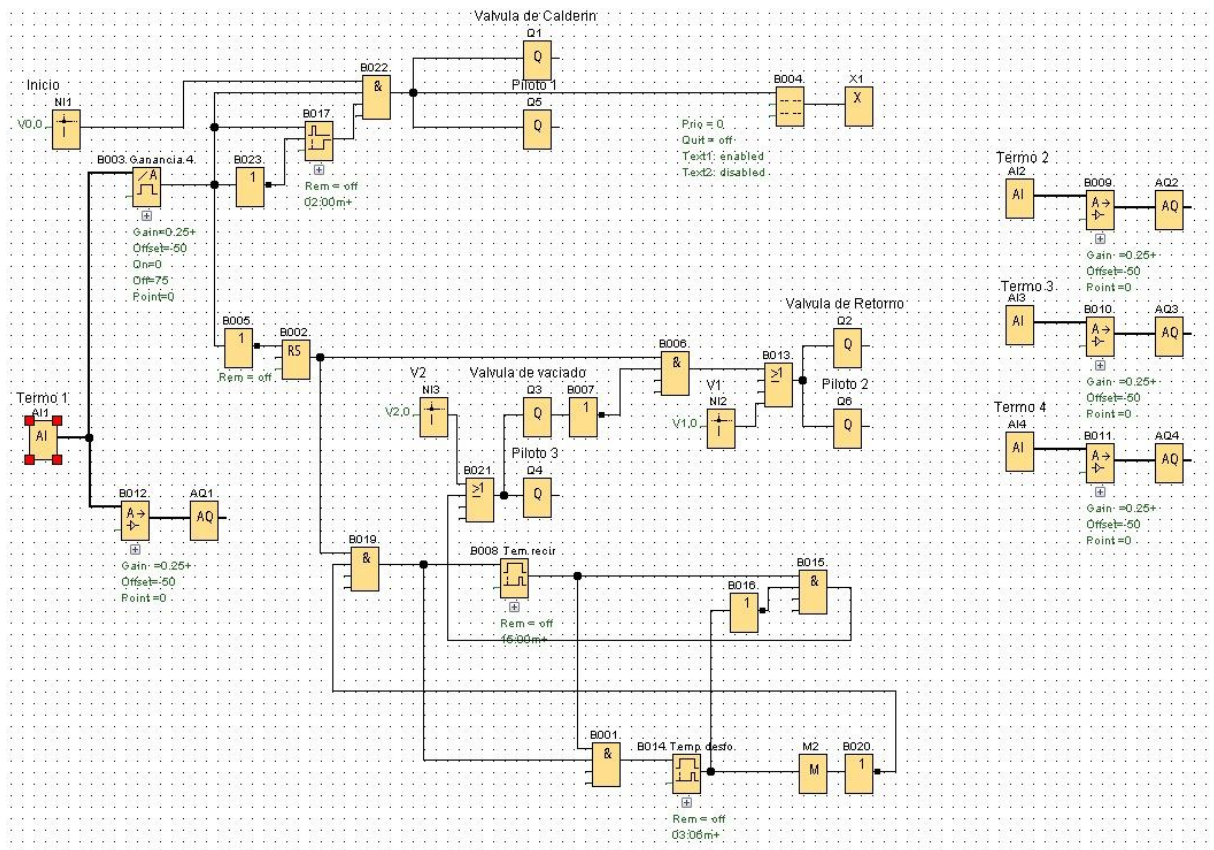
A partir de estos pasos básicos, se realizará el diseño del programa para realizar el control del proceso incluyendo la medida y control de temperatura, además de las medidas a tomar si en porcentaje de concentración de alcohol no es el óptimo, esto implementado en el proceso de recirculación.

Diseño del programa implementado en el PLC

El programa del sistema se ha diseñado en LOGOSoft Comfort, se ha diseñado en diagrama de bloques como se puede observar en la figura 26, con las siguientes condiciones.

Figura 26

Programa de control en LOGOSoft



Nota. Se presenta el diagrama de control programado para el prototipo

Una vez se inicia el proceso, la válvula que permite el flujo de vapor hacia los calderines se abrirá para calentar el fermento a una temperatura optima que permita evaporar el alcohol pero no el agua, una vez alcanzada esta temperatura optima en el nivel más alto de la torre, se cierra la válvula durante un tiempo determinado según el modelo del

intercambiador de calor para que se enfríe de forma precisa para mantener la temperatura a un nivel constante, luego se encenderá y continuara este ciclo.

Cuando se alcanza la temperatura optima en la parte alta de la torre, vamos a iniciar un contador durante un tiempo determinado por el usuario el cual será el tiempo que se mantendrá recirculando el vapor de alcohol en el sistema para elevar su grado de pureza, terminado este tiempo se cierra la válvula de recirculación y se abre la válvula de vaciado para condensar el alcohol conseguido en ese ciclo y luego todo se repite.

Entradas y salidas implementadas

El sistema tiene un conjunto de entradas

Tabla 11

Tabla de entradas y salidas

Entradas		
Denominación	Dirección	Descripción
Termo 1	AI1	Entrada análoga del sensor PT100 ubicado a nivel de la olla
Termo 2	AI2	Entrada análoga del sensor PT100 ubicado al nivel inferior de la torre de destilación
Termo 3	AI3	Entrada análoga del sensor PT100 ubicado al nivel intermedio de la torre de destilación
Termo 4	AI4	Entrada análoga del sensor PT100 ubicado al nivel superior de la torre de destilación
Inicio	NI1	Entrada de red, señal digital que viene desde el botón de inicio del HMI que inicia el sistema

Entradas		
Denominación	Dirección	Descripción
V1	NI2	Entrada de red, señal digital que viene desde el botón de inicio del HMI que abre la válvula de retorno
V2	NI3	Entrada de red, señal digital que viene desde el botón de inicio del HMI que abre la válvula de vaciado
Salida		
Denominación	Dirección	Descripción
Válvula de calderín	Q1	Salida digital que activara la servoválvula del calderín
Válvula de retorno	Q2	Salida digital que activara la servoválvula que controla el flujo de retorno
Válvula de vaciado	Q3	Salida digital que activara la servoválvula que controla el vaciado del alcohol
Piloto 1	Q5	Salida digital que activara un piloto dentro del HMI
Piloto 2	Q6	Salida digital que activara un piloto dentro del HMI
Piloto 3	Q44	Salida digital que activara un piloto dentro del HMI

Diseño del HMI implementado

El diseño de la interfaz se centra en el control del proceso y las indicaciones que el operador debe tomar para realizar este proceso procurando controlar cualquier eventualidad,

del mismo modo se tomó consideraciones de presentación y diseño según las normas que aplican al diseño de HMI.

Presentación

Al iniciarse la interfaz arranca con la presentación del sistema y el logotipo de la empresa auspiciante tanto como del grupo corporativo al que pertenece como se ve en la figura 27.

Figura 27

Presentación de la pantalla del HMI



Nota. Se presentan los logos del grupo corporativo Grupo Pacheco y su filial la empresa Alcoholes del Ecuador

Instrucciones

En la pestaña superior vista en la figura 28 se puede seleccionar las instrucciones para que cualquier operador pueda entender rápidamente el control del sistema y el proceso a realizarse, se describe el modo automático, así como las funciones manuales que puede tener el sistema de ser necesarias.


Figura 28

Pestaña de instrucciones del HMI

Control Historicos

El siguiente proceso consta de una función automática y una función manual en caso de ser necesaria



Función automática

Para iniciar la función automática, damos click en el botón , entonces se abrirá la válvula del calderín con su respectivo piloto. Esto continuará hasta que la temperatura en la parte más alta de la torre alcance un punto óptimo.

Una vez alcanzado el punto óptimo de temperatura el alcohol empezará a evaporarse y el ciclo de recirculación iniciará, para esto la válvula de desfogue se cerrará y la válvula de retorno se abrirá durante un tiempo determinado con anterioridad.

Finalmente la válvula de desfogue se abrirá y el alcohol que se ha concentrado en el proceso de destilación se vaciará para ser condensado

Función manual

En cualquier punto del proceso si fuera necesario abrir la válvula de retorno o desfogue, se podrá activar la señal de apertura dando click en los iconos de las válvulas  Válvula Retorno  Válvula Desfogue

Nota. En esta pestaña se presentan las instrucciones de uso del HMI para poder realizar el proceso de destilación del etanol.

Ingreso de datos de tiempos y temperaturas

Antes de iniciar el programa se debe establecer la temperatura óptima que debe alcanzarse en la torre antes de iniciar el proceso de recirculación, el tiempo que durará dicho proceso y el tiempo que se dará para vaciar el alcohol y que este sea condensado.

Figura 29

Ingreso de datos de temperatura y tiempo de vaciado y recirculación

Temp. Maxima

Tiempo de recirculación

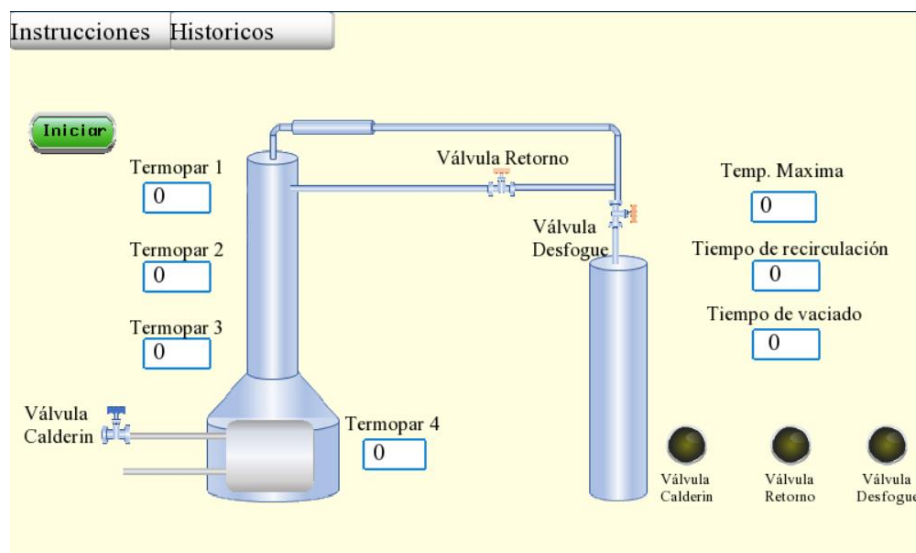
Tiempo de vaciado

Pantalla de trabajo

El área de control propiamente dicha constara de los indicadores para cada sensor de temperatura, así como los pilotos de estado para cada válvula; Por parte del control tendremos el área para establecer los valores de tiempos y temperatura además de contar con una botonera para el inicio del proceso, todo se puede observar en la figura 30.

Figura 30

Pantalla de trabajo del HMI



Capítulo IV

Pruebas y resultados

En este capítulo se detallan las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento del HMI, el control de temperatura, el control de recirculación del prototipo de torre de destilación, teniendo en cuenta que existen parámetros externos al prototipo con los cuales se tiene que trabajar para poder funcionar de manera adecuada, al realizar las pruebas no se tienen en cuenta estos parámetros externos en una primera instancia, sin embargo, esto es rectificado a medida que se realizan más pruebas al prototipo.

Hay que tener en cuenta que la olla de fermento tiene la capacidad del 600L y se estima que la cantidad de alcohol etílico que se espera destilar es alrededor del 10% del de fermento agregado a la olla inicialmente.

Parámetros externos

Para realizar las pruebas debemos intuir que estos parámetros van a influir en el resultado final del prototipo de destilación, los cuales son: Temperatura ambiente, vapor de alimentación, calderines y el fermento

Temperatura ambiente

La temperatura ambiental se debe tener en cuenta ya que, al iniciar el proceso, esta al ser muy fría en el sitio donde se realizaron las pruebas, que fue al aire libre, genera un grado de resistencia al calentamiento de la olla y del resto de la torre por lo que el proceso se puede tornar un poco más largo, sin embargo, esto no impide que se lo pueda realizar.

Vapor de alimentación

Al referirnos al vapor de alimentación, nos referimos a la cantidad de vapor que llega a los calderines de la olla, ya que la caldera que suministra el vapor tiene la capacidad de entregar aproximadamente 30 psi de vapor, y es con lo que se alimentaría nuestro prototipo, sin embargo, también se usa para suministrar de vapor a varias máquinas por lo que esta

presión no es fija y por ello el tiempo para que el fermento llegue a su ebullición varía de 60 min a 90 min.

Calderines

Con respecto a esta variable, se refiere al diseño de los calderines realizado por la empresa y el condensado del vapor de agua que se queda atrapado dentro de los calderines y esto sucede al enfriarse el vapor y no tener un escape para este condensado. El resultado de esto es que el tubo de vapor de los calderines queda tapado por lo que en varios momentos no existe un flujo continuo y por ello tarde más tiempo en calentar la olla hasta que el fermento llegue a su ebullición.

Alimentación de agua

En los intercambiadores de calor externos que cumplen con la función de condensadores, debido a las altas temperaturas, el agua que usa para realizar su función se calienta excesivamente por lo que hay que regular el flujo de agua y que este sea constante para su correcto funcionamiento, es decir que no se caliente y enfríe el etanol para no dañar el producto final.

Fermento

Por último, el fermento es esencial que haya cumplido su etapa de fermentación adecuadamente con el tiempo correcto ya que, si no lo hace, el grado alcohólico disminuye, esto ocurre de igual manera si ha pasado demasiado tiempo guardado perdiendo sus propiedades.

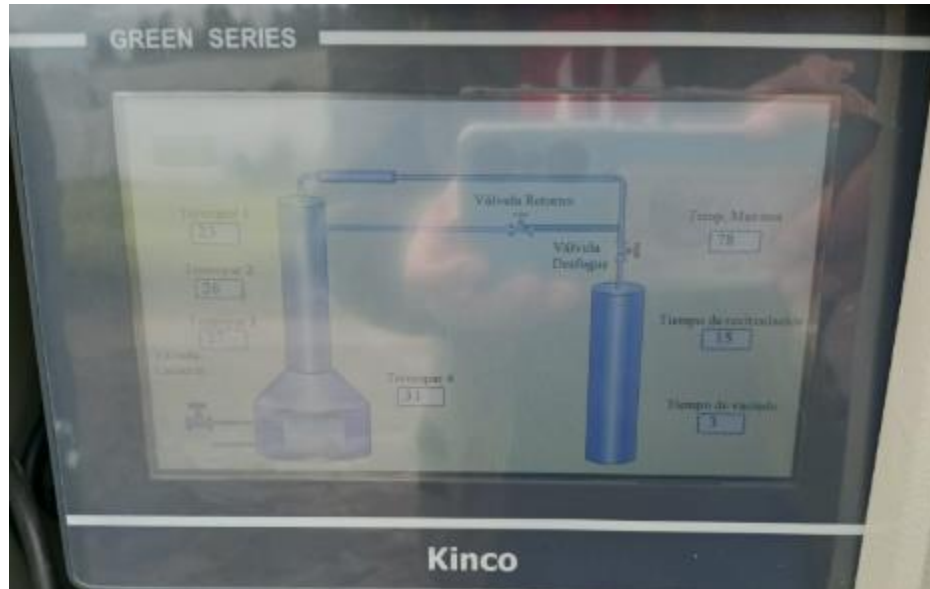
Encendido general

Para poner en marcha el prototipo se tiene que encender el contactor, luego encender el regulador de voltaje al cual está conectado el PLC y pantalla HMI mediante un interruptor conectado en el regulador. Luego de esto se tiene que conectar el PLC y el HMI

con lo que estos se encenderán para luego poner en marcha mediante el botón start del HMI, esto lo podemos observar en la figura 31.

Figura 31

Encendido y primera visualización de la pantalla HMI Kinco



Nota. Imagen que se muestra la primera vez que se encendió el sistema y se pudo ver que el HMI funciona correctamente junto con la visualización de datos de temperatura.

Valores de variables de ingreso de datos

Se restringió los valores de los datos que se pueden ingresar el HMI para poder evitar el ingreso de valores excesivos, los cuales se detallan en la tabla 12.

Tabla 12

Valores mínimos y máximos de las variables para ingresar en los parámetros de control

VARIABLE	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	UNIDADES
Temperatura	30	100	°C

VARIABLE	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	UNIDADES
Tiempo	0	30	Minutos

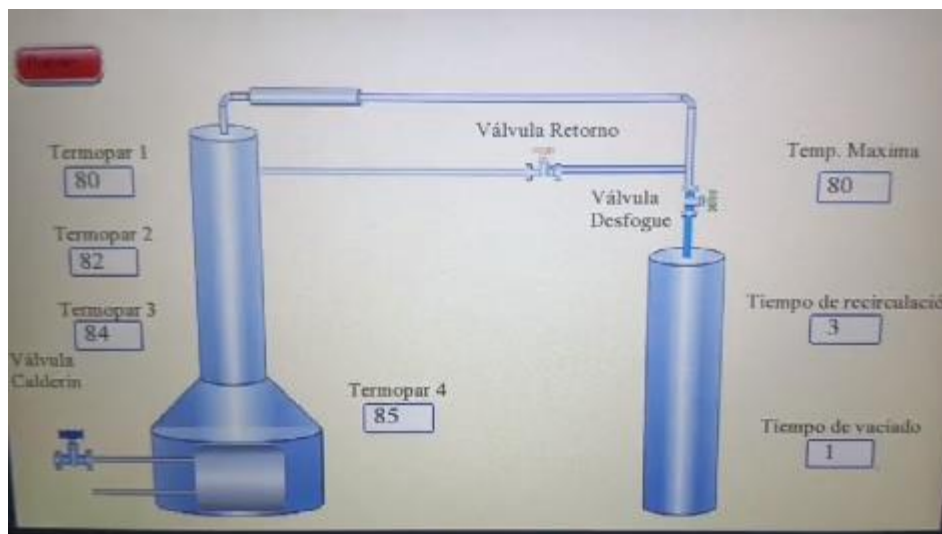
Nota: Se presenta el valor mínimo y máximo que puede ser ingresado en el HMI

Pruebas de interfaz humano máquina

Para realizar las pruebas del HMI se lo energizó con la ayuda de la fuente de 12V a 1A y como se puede observar en la figura 32, la comunicación entre el PLC LOGO! Y el HMI funciona correctamente obteniendo los datos de los sensores de temperatura RTD hacia el PLC y posteriormente mostrándolos en la pantalla HMI Kinco.

Figura 32

Primera prueba de funcionamiento del HMI



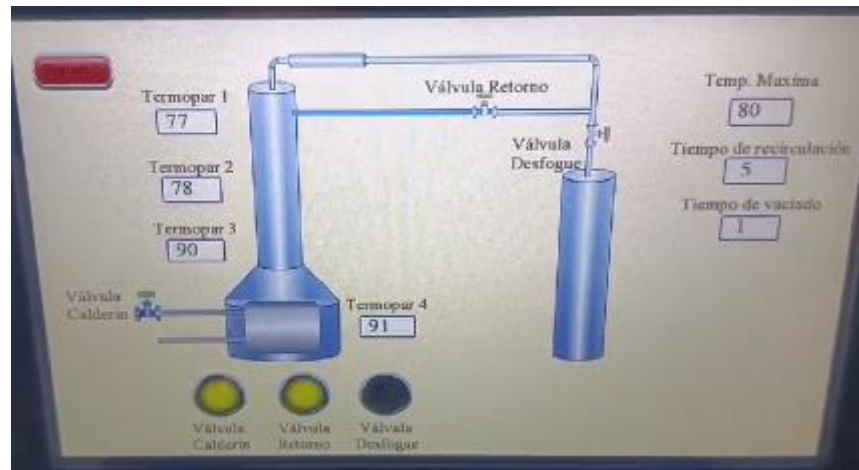
Nota. Se presenta la imagen de la primera prueba de funcionamiento del HMI

Al no tener en cuenta los parámetros externos a la planta el HMI se ha usado como se diseñó en primera instancia, como se puede observar en la figura 32, a partir de allí al tener en cuenta los parámetros externos que influyen en el prototipo, el diseño inicial se ha

modificado para poder visualizar de una mejor manera el proceso, como se puede ver en la figura 33.

Figura 33

Prueba del rediseño de la interfaz de trabajo del HMI



Nota. Se muestra el rediseño implementado en el HMI incluyendo los pilotos para poder observar de mejor manera el proceso.

Pruebas de control de temperatura

Al iniciar el proceso se deben colocar los parámetros de temperatura desde el HMI, con lo que colocamos el valor de 78°C que es el valor al que el etanol llega a su punto de ebullición y el valor al cual la electroválvula de ingreso de vapor debe cerrarse y no permitir el ingreso de vapor y por lo tanto, el incremento de temperatura. Con lo que se presenta una pequeña variación hasta los 79°C y de ahí debido al cierre de esta electroválvula la temperatura desciende hasta los 76°C, a partir de esto, el PLC manda la señal para poder energizar la electroválvula de vapor otra vez y poder llegar al valor de 78°C que es nuestro set point.

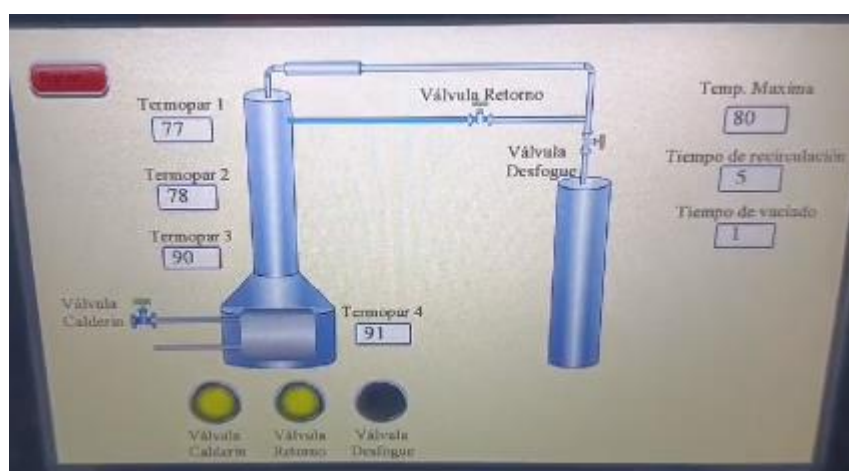
Pruebas de control de recirculación

Para poder implementar este proceso, primero se debe programar los tiempos de recirculación y vaciado para el etanol, se lo realiza al mismo tiempo y se encuentra junto al lugar en el que se programa la temperatura de set point.

Al estar encendido, la temperatura del sensor de temperatura 1 se incrementa hasta los 78°C y en este momento se activa el proceso de recirculación abriendo la válvula de recirculación como se puede observar en la figura, en este caso los tiempos colocados son de 5 minutos de recirculación y 1 minuto de vaciado.

Figura 34

Prueba de recirculación



Nota. En la imagen se puede observar que las luces piloto de la válvula de los calderines y la válvula de retorno están encendidas y la temperatura del sensor 1 está en 77°C, por lo que el proceso de retroalimentación está activo.

Una vez cumplido el tiempo de recirculación programado de 5 minutos empieza el tiempo de vaciado en el que esta válvula de vaciado de enciendo, es decir, su estado cambia a abierta por lo cual deja escapar el alcohol etílico durante el tiempo programado de 1 minuto, este alcohol se lo recoge como se puede observar en la figura 35.

Figura 35

Obtención del alcohol etílico luego del proceso de destilación



Nota. En la figura se muestra como se recoge el producto final, es decir, el alcohol etílico después de la destilación.

Resultados obtenidos

En cuanto se comprobó el correcto funcionamiento de todos los sistemas, se procedió a realizar varias pruebas con varios valores de temperatura leídos por el sensor de temperatura 1 que es el sensor primordial ya que es el más cercano a la recolección del alcohol etílico del cual se va a utilizar para realizar el control de todos los procesos y en varias pruebas se implementará el proceso con y sin retroalimentación.

La prueba de concentración se la realiza manualmente con la ayuda de un densímetro medidor de alcohol y una probeta como se puede observar en la figura 36. Esta prueba es muy exacta y también muestra el valor de temperatura del alcohol.

Figura 36

Medición manual de la concentración de alcohol



Nota. En la imagen se muestra cómo se realiza la prueba manual de concentración de alcohol con la ayuda de un densímetro medidor de alcohol que muestra la medición de 88% de concentración de alcohol.

Los resultados obtenidos en las distintas pruebas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13

Tabla de resultados obtenidos en las distintas pruebas

SENSOR DE TEMPERATURA	RETROALIMENTACIÓN	CONCENTRACIÓN
RTD 1 (°C)		(%)
78	No	70
80	No	74

SENSOR DE TEMPERATURA	RETROALIMENTACIÓN	CONCENTRACIÓN
RTD 1 (°C)		(%)
85	No	76
78	Si	85
80	Si	88
85	Si	89

Nota. Se presentan los resultados obtenidos en las distintas pruebas en las que se evidencia la influencia de la retroalimentación en el proceso de destilación.

En la figura 37 se muestra el resultado de la primera prueba realizada con realimentación a una temperatura configurada en HMI para el sensor de temperatura 1 de 78°C.

Figura 37

Resultado de la primera prueba realizada con retroalimentación



Nota. Se muestra el resultado de la primera prueba realizada con el valor de 78°C de temperatura e implementando el proceso de realimentación del alcohol etílico con una medición de 84° de etanol.

Realizar tan pocas pruebas debido a las siguientes razones:

- El tiempo del proceso es muy extenso debido a lo grande del prototipo.
- El fermento usado es escaso para realizar esta prueba y es complicado traer más desde el lugar en el que lo producen por ello solo se pueden realizar pruebas limitadas.

Cálculo consumo eléctrico

Para calcular el consumo eléctrico del prototipo hay que tener en cuenta un trabajo continuo de la planta. En este caso el trabajo se lo realizará en un tiempo estimado de 6H

desde el inicio del calentamiento del fermento hasta la obtención de alcohol con una concentración menor a 70°, después de haber destilado al menos un 10% del fermento llenado inicialmente en la olla del prototipo.

Entonces obtenemos el consumo de cada elemento eléctrico en la siguiente tabla.

Tabla 14

Tabla de consumo eléctrico de cada elemento del prototipo

ELEMENTO	CANTIDAD	CONSUMO (W)
PLC	1	2.5
HMI	1	3.6
Módulo RTD	2	4,6
Electroválvulas	2	0.55
Solenoides	1	8
TOTAL		24.4

Nota. En la tabla se presentan los valores hallados en las hojas de datos técnicos de cada elemento.

Entonces con este cálculo anterior de 24.4W en cada hora de uso del prototipo y dada la situación actual de costo del servicio eléctrico, entonces tenemos que:

$$\text{Consumo por Ciclo de Trabajo} = \text{Potencia Consumida} * \text{Tiempo de Trabajo}$$

$$\text{Consumo por Ciclo de Trabajo} = 24.4 \text{ W} * 6 \text{ horas}$$

$$\text{Consumo por Ciclo de Trabajo} = 146.4 \frac{\text{W}}{\text{hora}}$$

Dado a que actualmente desde el mes de diciembre del año 2022 el valor de la electricidad se elevó a USD 0,057 por kilovatio /hora en comparación al año anterior (Primicias, 2022). Por lo tanto, para calcular el costo de consumo eléctrico vamos a usar este valor.

$$\text{Costo Operativo} = \text{Consumo por Ciclo} * \text{Costo Energía Eléctrica}$$

$$\text{Costo Operativo} = 146.4 W * \$0.057$$

$$\text{Costo Operativo} = \$0.0083448$$

Prueba de hipótesis

Para poder comprobar o negar la hipótesis es necesario tener una hipótesis. Para este proyecto en cuestión la hipótesis es la siguiente:

¿El prototipo de destilación de alcohol con control automatizado permitirá producir alcohol con una concentración mínima de 80° en la empresa Alcoholes del Ecuador, en la provincia de Cotopaxi?

Para cumplir la hipótesis planteada se determina una variable que se pueda adecuar para mejorar el proceso y por ende el producto final, la variable escogida ha sido la concentración de alcohol con retroalimentación.

Usando los datos obtenidos de las pruebas y reflejados en la tabla 15, nuestra hipótesis nula y la hipótesis alternativa serán:

Concentración de alcohol: 80°

Ho: $u < 80^\circ$

Ha: $u \geq 80^\circ$

Tabla 15*Mediciones de concentración de etanol con retroalimentación*

SENSOR DE TEMPERATURA	CONCENTRACIÓN
RTD 1 (°C)	(%)
78	85
80	88
85	89

El porcentaje de confiabilidad a usarse es el 95%, para decir que la medición es mejor a la implementada sin retroalimentación.

El número de muestras serán $n = 3$

Cuando los datos son menores a 20 el método a usarse es el de la T de Student, para ello calculamos los grados de libertad de la siguiente forma:

$$GL = n - 1$$

$$GL = 3 - 1$$

$$GL = 2$$

A partir de esto calculamos la media y la desviación estándar con los datos de la tabla 15.

$$\bar{x} = 87.333$$

Tabla 16*Datos para cálculo de la desviación estándar*

x	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
85	-2.333	5.4428

88	0.667	0.4448
89	1.667	2.7788
	Σ	8.6664

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{8.6664}{3 - 1}}$$

$$S = 2.0816$$

A partir de estos datos relacionamos los grados de libertad que son GDL=2 con el nivel de significación de 5% en la tabla T de Student.

El valor correspondiente es de 2.9200 que vamos a usar en la siguiente ecuación para calcular la t crítica y verificar si cumple la hipótesis nula o la hipótesis alternativa.

m: es la media poblacional que se refiere al grado de concentración habitual del alcohol proveniente de Ho.

$$m = 80^\circ \text{ de alcohol}$$

$$tc = \frac{\bar{x} - m}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$tc = \frac{87.333 - 80}{\frac{2.0816}{\sqrt{3}}}$$

$$tc = 6.1016$$

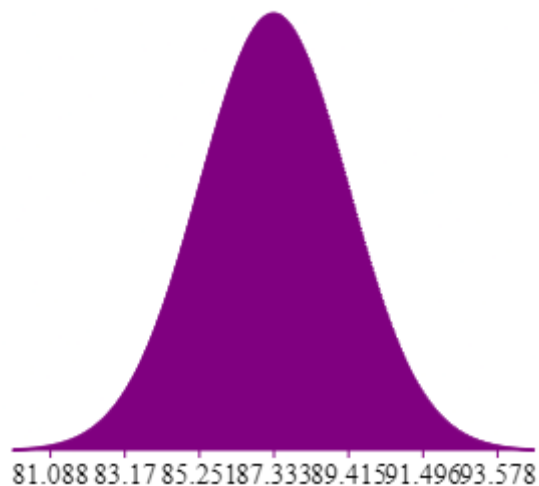
Dado que el valor crítico $t=2.9200$ es menor que la estadística de prueba $t_c=6.1016$, esto sugiere que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula H_0 y aceptar la

Como podemos ver en la figura 38 con un nivel de significación de 95%, no podemos aceptar la hipótesis nula de que el alcohol etílico saldrá con una concentración menor a 80° con una probabilidad (área) de 0.9998.

hipótesis alternativa.

Figura 38

Campana de distribución normal de la hipótesis



En términos más simples, los resultados del análisis sugieren que con un nivel de significación del 5%, la retroalimentación incrementa notablemente el nivel de concentración de alcohol en comparación con el valor habitual de 80° . En otras palabras, los datos indican que la retroalimentación tiene un efecto positivo en la concentración de alcohol.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se logró diseñar e implementar un prototipo de destilación de etanol con un control automatizado de temperatura para alcanzar una concentración mínima de etanol de 80° en la planta alcoholes del Ecuador.
- De acuerdo con la investigación documental efectuada del proceso de destilación de alcohol a partir del jugo de caña de azúcar se concluyó que si era factible realizar la automatización de este proceso.
- Se pudo desarrollar un proceso de destilación semiautomático, el cual implementa un control de temperatura que es muy importante para lograr el objetivo de concentración de alcohol.
- La construcción del prototipo se realizó de acuerdo con los diseños entregados por la empresa para su torre de rectificación y los diseños elaborados por nosotros para la automatización de este proceso.
- Las pruebas realizadas para la validación del proceso respondieron adecuadamente de acuerdo con lo previsto en el diseño y esto fue efectivo gracias a la recirculación implementada en el controlador mediante la válvula de recirculación y al control de temperatura realizado al sensor 1 el cuál resultó ser el lugar crítico para el éxito del proceso y a pesar de las variables externas que en un principio no fueron tomadas en cuenta, el prototipo funciona correctamente.
- En conclusión, el prototipo de destilación de alcohol con un control semiautomatizado si permite producir un alcohol con una concentración mínima de 80° e incluso superior a esta estimación.

Recomendaciones

- Para la construcción de la torre se debe utilizar un acero inoxidable de grado alimenticio para no cambiar las propiedades del etanol que se esté destilando.
- Antes de realizar la instalación de los sensores y actuadores realizar las pruebas de funcionamiento de estos para comprobar que no exista ninguna falla de fábrica y no tener problemas posteriores debido a esto.
- Tener en cuenta en la parte de la instalación, dependiendo los sensores de temperatura que se implementen, se debe usar el cable especial para cada sensor si se llegara a necesitar un cable más largo y utilizar los conectores especiales para unir estos cables y de esta manera evitar el ruido generado para cada sensor y con ello evitar una mala lectura por parte de estos.
- Al instalar los sensores RDT en la torre de rectificación, tener en cuenta que la pieza de ajuste sea puesta en la posición adecuada y no ajustar con una fuerza excesiva ya que de no tener presente esto, esta se puede dañar y es difícil conseguir repuestos además de producir fugas de vapor de etanol y por ende, pérdidas de producto.
- Revisar en las instalaciones de los tubos que no se presenten fugas y ajustar en caso de encontrar alguna ya que por allí se puede fugar el vapor de etanol o etanol líquido dependiendo de que sector de la tubería se encuentre la fuga.
- Realizar un diseño intuitivo y muy gráfico del HMI para que el operario lo pueda controlar de manera eficiente a partir de la caja de control sin dificultades.

Bibliografía

- Adriano, S., & Valle, V. (2012). *DSpace ESPOCH*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2510>
- Andrade, X., Pisco, I., Quinde, L., & Coronel, C. (28 de agosto de 2020). *El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador*. Obtenido de <https://revistaindustrias.com/el-mercado-de-bebidas-alcoholicas-en-ecuador/>
- Aragonés, J. B., Gómez, C. G., Zaragoz, B. Z., Martínez, A. G., Campos, D. M., & Llinares, A. G. (2003). Sensores de temperatura. *Universidad Tecnológica Nacional*, 2003-04. Obtenido de https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf
- Cornejo Arteaga, P. M. (2016). Aplicaciones del alcohol etílico. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria no 3*, 3. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/article/download/1725/5423?inline=1>
- CORPEI. (junio de 2008). *Corporación de promoción de exportaciones e inversiones*. Obtenido de <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/Perfil%20Licores.pdf>
- El Universo. (30 de junio de 2021). *Observatorio del Cambio Rural*. Obtenido de Ocaru: <https://ocaru.org.ec/2021/06/30/produccion-de-cana-de-azucar-y-etanol-genera-200-000-plazas-de-trabajo-segun-la-asociacion-de-biocombustibles-del-ecuador/>
- Grisales, J., & Carvajal, M. (31 de octubre de 2016). *Repositorio Universidad del Valle*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50698854/alc_my_yo-libre.pdf?1480805669=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPROPIEDADES_QUIMICAS_DE_LOS_ALCOHOLES.pdf&Expires=1690465573&Signature=AFYHbhHv761jK8-4I~WgaK0nFWSz3zgSJn28J8YNddou0aGRYER0I5e

- Herrera, J. P. (2011). Mejora del proceso de destilación artesanal para la producción de etanol. *Revista Científica UNET*, 46-52.
- Kinco Electric (Shenzhen) Ltd. (s.f.). *Kinco*. Obtenido de <https://en.kinco.cn/download/hmissoftware.html>
- MAIZAR. (07 de enero de 2017). *MAIZAR: Asociación maíz y sorgo argentino*. Obtenido de <http://www.maizar.org.ar/vertex.php?id=246>
- OIT, O. I. (1998). Propiedad de los alcoholes: Alcoholes. En O. I. Trabajo, *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, fourth edition* (págs. 104.32-104.33). Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Primicias. (23 de diciembre de 2022). *Primicias*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/sequia-eleva-costos-electricidad-ecuador/#:~:text=Altos%20costos%20de%20la%20electricidad&text=Es%2020%25%20m%C3%A1s%20que%20en,USD%200%2C057%20por%20kilovatio%20%2Fhora>.
- Puertas Arias, E. (11 de noviembre de 1948). *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30785>
- Ramírez, L. G., Jiménez, G. S., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.
- Ricaurte, M., Luna, S., Mosquera, S., Sarmas, J., Zenteno, J., & Vilorio, A. (24 de febrero de 2019). *Revista Bionatura*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.21931/RB/CS/2019.02.01.10>
- Robaina, K., Babor, T., Pinsky, I., & Johns, P. (2020). *The alcohol industry's commercial and political activities in Latin America and the Caribbean: Implications for public health*. Geneva: NCD Alliance, Global Alcohol Policy Alliance, Healthy Latin America Coalition, and Healthy Caribbean Coalition.

Sesma Beltrán de Salazar, J. (2022). Diseño y montaje de un sistema de control de electroválvulas. *Universidad Pública de Navarra*, 8.

Siemens. (14 de abril de 2021). *Siemens*. Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109783154/descarga-para-logo!-8-3-upgrade-del-software?dti=0&lc=es-EC>

Siemens. (01 de agosto de 2023). *Siemens*. Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1052-1FB08-0BA1>

Anexos