

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**Sistema de adquisición de datos en el destilador batch con
rectificación para la mezcla etanol agua**

PRESENTADO POR:

Bach. Santosina Adelaida QUINTO ROMÁN

Para optar el título profesional de:

INGENIERA QUÍMICA

ASESOR:

Dr. Alfredo ARIAS JARA

AYACUCHO – PERÚ

2022

A mi familia

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia y en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por contribuir en mi formación profesional.

A los responsables del taller Electromecánico Holger K. Hansen, Ing. Aquiles López La Serna e Ing. Alejandro Tineo Morote, por su apoyo desinteresado.

A mi asesor, el Dr. Alfredo Arias Jara, por su paciencia, comprensión, y cooperación en la ejecución de la tesis, y por permitirme trabajar en los ambientes del Laboratorio de Transferencia de Masa.

A mis compañeros, Jhon Yaranga Acori y Rosmery Godoy Bautista, por su apoyo y compañerismo.

A todos los que fueron parte de la presente investigación, a mis padres y hermanos.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue implementar un sistema de adquisición de datos (SAD) en el destilador batch con rectificación en base a la plataforma de desarrollo Arduino para la mezcla etanol agua, para lograr el objetivo se realizó la evaluación y se determinó que el equipo no contaba con un sistema de adquisición de datos por lo que se seleccionó los componentes adecuados y necesarios para llevar a cabo la instalación, implementándose así, seis sensores digitales de temperatura DS18B20, un sensor de caudal YF-S201 para el fluido refrigerante y un sensor de nivel mínimo para proteger las resistencias de inmersión instalados en el hervidor. Para llevar a cabo el diseño del SAD, se construyó la placa de circuitos para integrar los distintos sensores al sistema, además de realizar el diseño y la programación en el front panel y block diagram de LabVIEW, el código de programación se cargó en la IDE de Arduino para ser ejecutado por el microcontrolador. El microcontrolador de Arduino, se encarga de acondicionar, convertir y controlar el flujo de información enviado a través del bus de datos de cada uno de los sensores, realiza comandos para iniciar las mediciones y visualizarlas a través del monitor LCD, además de realizar la comunicación con el ordenador. El monitoreo de las variables: temperatura, caudal, nivel y relación de reflujo se da en tiempo real, a través del display LCD gráfica, instalado en el tablero de control y a través de un ordenador mediante la interfaz gráfica de usuario en LabVIEW, los datos obtenidos son fácilmente exportados a través de Excel. En la evaluación del sistema etanol-agua, para una muestra de 20 L en peso aproximadamente, a una concentración inicial de 6,1% de etanol, y con una relación de reflujo de 1,6, los caudales internos de líquido y vapor fueron: 0,1883 kmol/h y 0,3060 kmol/h respectivamente, y realizando las correlaciones respectivas se obtuvo un diámetro de columna de 0,087 m, con una caída de presión de 0,00965 atm/m de altura de empaque, que corresponde a las dimensiones y características del equipo.

ABSTRACT

The objective of the research was to implement a data acquisition system (SAD) in the batch distiller with rectification based on the Arduino development platform for the ethanol-water mixture, to achieve the objective the evaluation was carried out and it was determined that the equipment It did not have a data acquisition system, so the appropriate and necessary components were selected to carry out the installation, thus implementing six DS18B20 digital temperature sensors, a YF-S201 flow sensor for the refrigerant fluid and a sensor minimum level to protect the immersion heaters installed in the boiler. To carry out the design of the SAD, the circuit board was built to integrate the different sensors into the system, in addition to carrying out the design and programming in the front panel and block diagram of LabVIEW, the programming code was loaded in the IDE Arduino to be executed by the microcontroller. The Arduino microcontroller is in charge of conditioning, converting and controlling the flow of information sent through the data bus of each of the sensors, performs commands to start the measurements and view them through the LCD monitor, in addition to carrying out the communication. with the computer. The monitoring of the variables: temperature, flow, level and reflux ratio is given in real time, through the graphic LCD display, installed on the control panel and through a computer through the graphical user interface in LabVIEW, the data obtained are easily exported through Excel. In the evaluation of the ethanol-water system, for a sample of approximately 20 L by weight, at an initial concentration of 6.1% ethanol, and with a reflux ratio of 1.6, the internal flows of liquid and vapor were: 0.1883 kmol/h and 0.3060 kmol/h respectively, and making the respective correlations, a column diameter of 0.087 m was obtained, with a pressure drop of 0.00965 atm/m of packing height, which corresponds to the dimensions and characteristics of the equipment.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. Problema general	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4.1. Técnica	15
1.4.2. Académica	15
1.5. DELIMITACIONES DEL PROBLEMA.....	15
1.5.1. Espacial	15
1.5.2. Temporal.....	15
1.6. HIPÓTESIS.....	16
1.6.1. Hipótesis general.....	16
1.6.2. Hipótesis específicas.....	16
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.1. A nivel nacional.....	17
2.1.2. A nivel internacional	18
2.2. BASES TEÓRICAS	18
2.2.1. Equilibrio líquido vapor	18
2.2.2. Destilación batch con rectificación	21
2.2.3. Columnas de relleno.....	24
2.2.4. Balance de materia y energía	27
2.2.5. Sistema de reflujo	30
2.2.6. Sistema de adquisición de datos	33

2.2.3. Conversión de señales	34
2.2.4. Tarjeta de Adquisición de Datos	36
2.2.5. Software para la adquisición de datos	36
2.2.6. Bus de comunicación	38
CAPÍTULO III	39
DISEÑO METODOLÓGICO	39
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	39
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39
3.3. VARIABLES.....	39
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	40
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.5.1. Técnicas de recolección de datos	41
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	41
3.6. MATERIALES Y EQUIPOS	41
3.6.1. Equipo de destilador batch con rectificación.....	41
3.6.2. Componentes del sistema de adquisición de datos	43
3.7. Diseño de la investigación.....	48
CAPÍTULO IV.....	50
DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	50
4.1. CONDICIÓN DEL EQUIPO	50
4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	52
4.2.1. Módulo de sensores	53
4.2.2. Módulo de relación de reflujo	54
4.2.3. Unidad central de procesamiento	55
4.2.4. Diseño del software	58
4.3. INSTRUMENTACIÓN.....	62
CAPÍTULO V.....	64
RESULTADOS Y DISCUSION.....	64
5.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES	64
5.1.1. Sistema etanol - agua.....	67
5.2. DISCUSIÓN	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	82
GLOSARIO	84
ANEXOS	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Lista de algunos de los transductores más comunes	34
Tabla 2 Operacionalización de la variable independiente.....	40
Tabla 3 Operacionalización de la variable dependiente.....	40
Tabla 4 Operacionalización de la variable interviniente	41
Tabla 5 Características del destilador batch con rectificación	43
Tabla 6 Características técnicas del sensor de caudal	44
Tabla 7 Características técnicas del sensor de temperatura	45
Tabla 8 Características técnicas del Arduino Nano.....	46
Tabla 9 Características del Display LCD gráfico	47
Tabla 10 Requisitos del sistema operativo windows para LabVIEW	47
Tabla 11 Datos del inicio y final de la destilación	67
Tabla 12 Pesos y fracciones molares	67
Tabla 13 Muestra tomada para determinar el número de etapas ideales	68
Tabla 14 Tabla auxiliar	71
Tabla 15 Resumen de los cálculos para hallar el valor de x_D	73
Tabla 16 Valores obtenidos en la práctica y los calculados con integración.....	73
Tabla 17 Variación del diámetro de la columna en relación al reflujo.....	75
Tabla 18 Temperaturas en el destilador batch con rectificación.....	76
Tabla 19 Características de operación	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama de temperatura composición para sistemas binarios: A-B	19
Figura 2 Diagrama de composición	20
Figura 3 Diagramas de temperatura de mezclas azeotrópicas	21
Figura 4 Diagrama de composición para mezclas azeotrópicas.	21
Figura 5 Destilador batch con rectificación	23
Figura 6 Algunas formas de empaques aleatorios.....	25
Figura 7 Esquema del destilador Batch con rectificación	27
Figura 8 Diagrama McCabe-Thiele	30
Figura 9 Operación a Reflujo variable	31
Figura 10 Operación a Reflujo constante.....	33
Figura 11 Indicador de temperatura basado en microcontrolador.....	37
Figura 12 Partes del equipo de destilación batch con rectificación.....	42
Figura 13 Dimensiones del condensador tipo serpentín.....	42
Figura 14 Sensor de flujo YF-S201	43
Figura 15 Sensor de temperatura DS18B20 con encapsulado metálico.....	44
Figura 16 Arduino Nano.....	45
Figura 17 Display LCD gráfico.....	46
Figura 18 Diagrama del diseño de la investigación	49
Figura 19 Equipo de monitoreo de temperatura	50
Figura 20 Materiales para medir el caudal	51
Figura 21 Resistencia dañada	51
Figura 22 Timer, controlador de la relación de reflujo	52
Figura 23 Esquema del sistema de adquisición de datos.....	52
Figura 24 Circuito de conexión del sensor de temperatura	53
Figura 25 Circuito de conexión del sensor de caudal	54
Figura 26 Circuito de conexión de sensor indicador de nivel bajo	54
Figura 27 Conexión del electroimán para la relación de reflujo.....	55
Figura 28 Circuito de conexión para el Display LCD	56
Figura 29 Componentes del Arduino nano.....	56
Figura 30 Diagrama del circuito eléctrico	57
Figura 31 Entorno de programación de Arduino (IDE)	58
Figura 32 Front panel y block diagram de LabVIEW	60
Figura 33 Diagrama esquemático de conexión.....	61
Figura 34 Interfaz gráfica de usuario en LabVIEW	61
Figura 35 Block diagram de LabVIEW	62

Figura 36 Sensores instalados en el equipo de destilación batch.....	63
Figura 37 Resultado de las medidas de caudal	64
Figura 38 Resultado de la medida de temperatura del refrigerante	65
Figura 39 Resultado de la medida de temperatura en el tanque.....	66
Figura 40 Resultado de la medida de la temperatura de vapor.....	66
Figura 41 Número de etapas ideales	69
Figura 42 Líneas de balance de materia instantáneos	70
Figura 43 Función de integración, x vs f	71
Figura 44 Área unitaria del trapecio	72
Figura 45 Diagrama temperatura composición	76

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Tablas de propiedades físicas y químicas	86
Anexo 2 Parámetros para el diámetro y la caída de presión en la columna	91
Anexo 3 Datos obtenidos para la evaluación	92
Anexo 4 Diagrama del equipo de destilación batch con rectificación.....	94
Anexo 5 Cálculos para hallar el peso y las fracciones molares.....	95
Anexo 6 Código para el sistema de adquisición de datos	97
Anexo 7 Panel fotográfico.....	103

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Adquisición de Datos convierte señales físicas en digitales para su registro y análisis por un ordenador. La elección de los dispositivos adecuados requiere un análisis previo del sistema o fenómeno y la precisión requerida. La investigación propone un Sistema de Adquisición de Datos basado en la plataforma Arduino Nano para el equipo de destilación batch con rectificación.

La investigación permite conocer y profundizar los conceptos teóricos acerca del Sistema de Adquisición de Datos y su implementación e instalación en el equipo de destilación batch con rectificación, facilitando la práctica de laboratorio y ofreciendo a los estudiantes la posibilidad de profundizar en los temas relacionados con la investigación.

Para la buena comprensión, de los objetivos planteados en la investigación, el informe se divide en cinco capítulos, en el primer capítulo se realiza la descripción del problema para luego formular las preguntas de investigación, los objetivos y la hipótesis; el segundo capítulo, es el sustento bibliográfico y los antecedentes necesarios para realizar la investigación; el tercer capítulo está relacionado con la metodología, aquella que se emplea para poder responder a nuestras interrogantes planteadas; el cuarto capítulo se implementa el sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación y finalmente, en el sexto capítulo se analiza los resultados y se realiza las discusiones respectivas; para concluir se redactan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La destilación es el método de separación más empleado a nivel industrial. Según el grado de pureza y la cantidad de destilado o producto a obtener se lleva a cabo algún tipo específico de proceso de destilación.

La tecnología emergente en la actualidad hace posible la incorporación de nuevos sistemas a tecnologías ya existentes para facilitar su manipulación, reducir tiempos, e incrementar la eficiencia, este es el caso de los sistemas de adquisición de datos, el cual se encarga de convertir las señales provenientes del entorno, en datos digitales equivalentes fáciles de manipular.

La Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia cuenta con el Laboratorio de Transferencia de Masa donde se encuentran equipos para realizar prácticas de las diferentes asignaturas de pregrado, así como también para realizar estudios de investigación, por lo que es necesario ir de la mano con el avance de la tecnología e implementar sistemas que nos ayuden a comprender sistemas más complejos como automatizaciones o inteligencia artificial que van introduciéndose a gran velocidad en la industria y en aspectos de la vida diaria.

El destilador batch con rectificación es uno de los equipos del Laboratorio de Transferencia de Masa, donde se realiza prácticas de laboratorio e investigación, este contaba con sensores de temperatura tipo analógico que, debido al continuo uso fueron sufriendo descalibración, además, el equipo no contaba con instrumentos para medir el caudal, o detectar el nivel mínimo de muestra para evitar accidente durante las prácticas, para dar solución a estos inconvenientes, en la presente investigación se implementó un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con

rectificación para la mezcla etanol agua. El sistema se desarrolló mediante el uso de la plataforma Arduino, para lo cual se dispuso de una serie de sensores analógicos y digitales, algunos de los cuales necesitaron ser previamente calibrados.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo implementar un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol – agua?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué se requiere para instalar un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol - agua?
- ¿Cómo generar el registro de las variables operativas a través del sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación?
- ¿Cuáles son los parámetros evaluados con el sistema de adquisición de datos para la mezcla etanol - agua en el destilador batch con rectificación?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Implementar un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol – agua mediante la plataforma Arduino.

1.3.2. Objetivos específicos

- Instalar un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol - agua.
- Generar el registro de las variables operativas a través del sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación.
- Evaluar las variables operativas del sistema de etanol – agua en el destilador batch con rectificación generados a través del sistema de adquisición de datos.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Técnica

Una de las principales razones para realizar la investigación fue el escaso trabajo en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga relacionado con sistemas de adquisición de datos basados en Arduino, por lo que la investigación pretende estimular a los estudiantes a profundizar en temas relacionados a la adquisición de datos y la automatización, empleado herramientas útiles y accesibles que serán de gran beneficio en su vida profesional.

1.4.2. Académica

El manejo de los equipos del laboratorio de transferencia de masa forma parte esencial de la formación académica de todo estudiante de ingeniería química, es así, que se ve la necesidad de implementar un sistema de adquisición de datos a través de una herramienta sencilla y de fácil manejo, logrando que el estudiante se familiarice con conceptos relacionados a microcontroladores, programación, automatización, control, etc., que será de gran beneficio en su vida profesional, ya que es aquí, en el laboratorio y en las horas de práctica, donde el estudiante puede contrastar la teoría con la práctica y sentirse satisfecho por el logro alcanzado. Arduino permite alcanzar objetivos al ser un dispositivo flexible y adaptable a muchos proyectos académicos, y permitiendo agregar otros componentes para cumplir con los objetivos deseados.

1.5. DELIMITACIONES DEL PROBLEMA

1.5.1. Espacial

El sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación se llevó a cabo en los ambientes del Laboratorio de Transferencia de Masa, donde se encuentra el equipo modular, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicado en la ciudad universitaria, Módulos UNSCH, de la ciudad de Ayacucho.

1.5.2. Temporal

La investigación del sistema de adquisición de datos se realizó en el periodo del año calendario 2022.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

- La implementación de un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol – agua es posible mediante el empleo de la plataforma Arduino.

1.6.2. Hipótesis específicas

- La instalación del sistema de adquisición de datos en destilador batch con rectificación para la mezcla etanol – agua es posible mediante el estudio previo de las variables operativas y el diseño del sistema.
- La generación del registro de las variables es posible mediante la programación de sensores y el uso de software.
- El sistema de adquisición de datos permite evaluar las variables operativas de la muestra etanol – agua en el destilador batch con rectificación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existe información sobre trabajos relacionados al sistema de adquisición de datos y destiladores batch con rectificación a nivel internacional y nacional las que se detallan a continuación:

2.1.1. A nivel nacional

De acuerdo con una investigación nacional (Mendoza, 2019), el autor llevó a cabo un estudio titulado "Implementación de un sistema de adquisición de datos con la interfaz de Arduino Mega para el estudio de fenómenos físicos" en la provincia de Lima. La investigación buscaba construir un sistema de adquisición de datos utilizando la interfaz Arduino Mega 2560 para el estudio de fenómenos físicos. Se concluyó que se puede crear un sistema de adquisición de datos económico con una tarjeta de bajo costo y que el programa diseñado es viable para la obtención de información sobre fenómenos físicos y químicos.

De acuerdo con una investigación de Arzapalo (2007) titulada "Instrumentación y control en el destilador diferencial del laboratorio de operaciones y procesos unitarios de La FIQ – UNCP para incrementar su eficiencia" en la provincia de Huancayo, el autor buscó mejorar la eficiencia en el destilado instalando instrumentos de medición y control en el destilador diferencial del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro Perú. Se concluyó que al agregar instrumentos de control como indicador de temperatura, switches, termocuplas, contactores y selector de temperatura en el

destilador diferencial y validar su eficiencia a diferentes concentraciones (10% y 15%), se logra controlar la temperatura y mejorar la calidad del producto..

2.1.2. A nivel internacional

Una investigación realizada en el extranjero por De la Horra (2013) con el título "Sistema de adquisición de datos basados en la plataforma Arduino: aplicaciones a Matlab, Simulink y Android" llevada a cabo en Leganés, Madrid, se esforzó en crear un sistema basado en Arduino que permita controlar un sistema físico mediante Matlab o Simulink. Se concluyó que se puede desarrollar un sistema de adquisición de datos económico utilizando Arduino que funcione como un DAQ entre Simulink o una aplicación móvil y el mundo físico. Se estudió la frecuencia de muestreo y las capacidades de la arquitectura, y se llevaron a cabo varias pruebas para validar el sistema completo en la construcción de la interfaz hardware y software que interactúan con el sistema físico.

Según Calderón y González (2018), en su informe titulado "Consideraciones sobre la utilización del Microcontrolador Arduino como sistema de Adquisición de datos", desarrollado en la Universidad de Extremadura, España, los autores se esforzaron por crear un sistema de adquisición de datos asequible y capaz de recopilar una gran cantidad de señales de un proceso externo, diseñando 3 modelos diferentes. Concluyeron que la configuración que ofreció el menor tiempo de muestreo fue el primer modelo con 200 μ s, que almacena los valores en la memoria interna. El segundo sistema de adquisición de datos, "Almacenamiento en microSD", tiene un tiempo mínimo de muestreo de 100ms, mientras que el tercer sistema SAD "Maestro-Eslavo" tiene un tiempo mínimo de muestreo de aproximadamente 10ms. Los datos indican que la mejor opción dependerá de la aplicación específica del sistema.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Equilibrio líquido vapor

Según Sandoval y Muñoz (2020), existe una condición de equilibrio que es estática en términos de propiedades macroscópicas, pero dinámica a nivel microscópico, debido al movimiento constante de las moléculas entre la zona líquida y la zona de vapor).

Según Moncada (2018), para realizar cálculos de destilación precisos es esencial predecir o determinar experimentalmente el equilibrio líquido-vapor. Estos datos requieren relacionar la composición, la temperatura y la presión del sistema, que se describen en términos de los valores de K y la volatilidad relativa. K es una medida de la tendencia del componente i a vaporizarse y depende de la temperatura, presión y composición. La volatilidad relativa es la relación entre los valores de K del componente más volátil y el menos volátil, siempre será mayor o igual a uno.

$$K_i = \frac{\text{Fracción molar del componente } i \text{ en la fase vapor}}{\text{Fracción molar del componente } i \text{ en la fase líquida}} = \frac{y_i}{x_i} \quad (2.1)$$

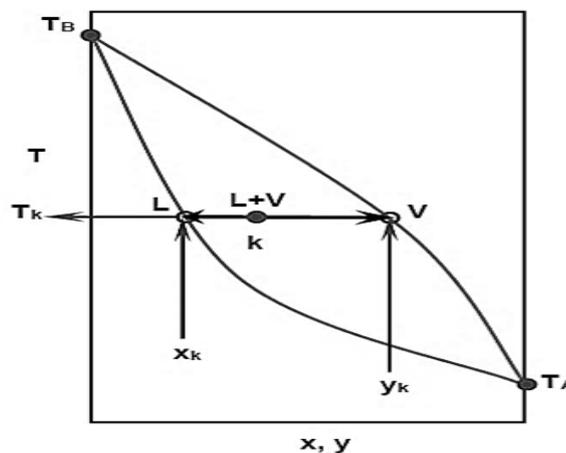
$$\alpha_{ij} = \frac{\text{Valor } K \text{ del componente } i}{\text{Valor } K \text{ del componente } j} \quad (2.2)$$

2.2.1.1. Diagrama de temperatura

Según Arias (2011), el diagrama de temperatura $T = f(x, y)$, con una presión constante, La Figura 1 muestra una curva que va desde el punto de ebullición de A puro hasta el punto de ebullición de B puro. La curva superior representa la relación entre la temperatura y la composición del vapor y se corresponde con los puntos de rocío. La curva inferior representa la relación entre la temperatura y la composición del líquido y se corresponde con los puntos de burbuja. Entre las dos curvas se encuentran las mezclas líquido-vapor (L+V) que permiten la separación de fases en equilibrio a una temperatura constante, representada por la línea k .

Figura 1

Diagrama de temperatura composición para sistemas binarios: A-B



Nota. Adaptado de *Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa*, (p. 244), por A. Arias, 2011, PRAKTICO L&C.

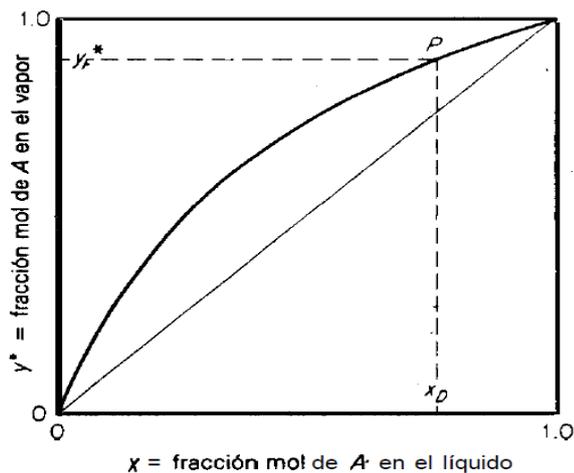
2.2.1.2. Diagrama de composición

Trabajando a una presión constante, se fija una temperatura específica, lo que también fija la composición del líquido y del vapor en equilibrio. En el gráfico de temperatura, se dibujan las isotermas (líneas horizontales) y se obtienen los valores de x e y para el líquido en ebullición y el vapor saturado, que se encontrarán en equilibrio.

En el diagrama de composición $y=f(x)$ mostrado en la Figura 2, el punto P se encuentra en la línea de unión DF. La curva cae por encima de la diagonal 45° trazada como referencia, debido a que el vapor contiene una mayor cantidad de la sustancia más volátil (Güemez et al, 2013, p. 22).

Figura 2

Diagrama de composición

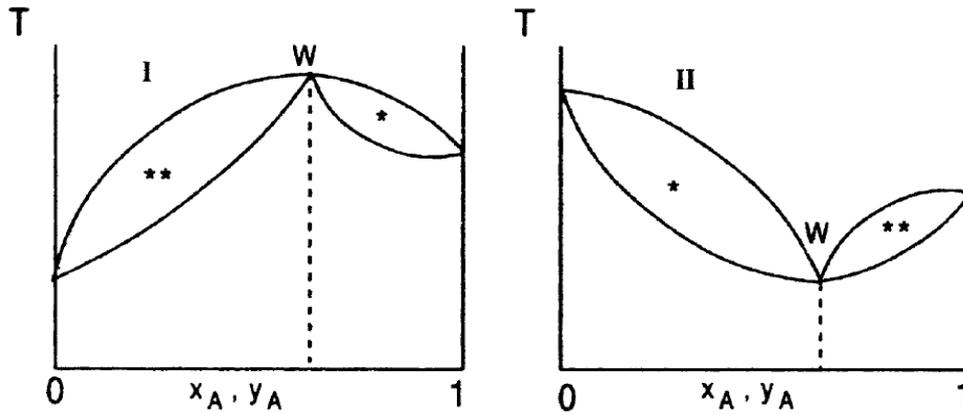


Nota. Adaptado de *Operaciones de transferencia de masa*, (p. 381), por R. Treybal, 2003, McGrawHill.

De acuerdo a Güemez et al (2013), la existencia de puntos azeotrópicos puede causar una variación (negativa o positiva) en relación al comportamiento ideal del equilibrio líquido vapor. En el punto W de la figura 3, se ve una composición crítica en la que el vapor tiene la misma composición que el líquido, lo que significa que no hay cambios al hervir. Esta mezcla crítica se llama azeotrópica. La desviación puede resultar en una temperatura máxima (I) o mínima (II) en el sistema. Cada sección en la figura 3 y 4 actúa como una destilación común, con la diferencia de que en una el componente A es más volátil que B, y en la otra B es más volátil que A (según los asteriscos).

Figura 3

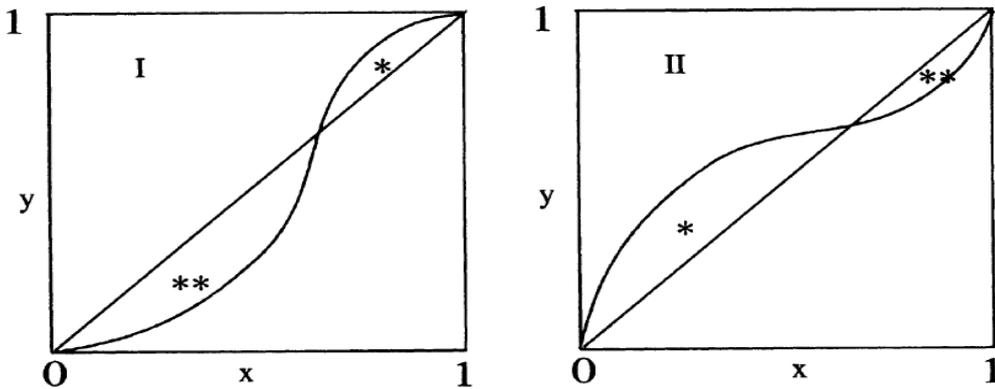
Diagramas de temperatura de mezclas azeotrópicas



Nota. Adaptado de *Rediseño de la columna de extracción líquido-líquido y ensayo didáctico*, (p. 16), por A. Rivera y M. Hansen, 2017, Universidad de Guayaquil.

Figura 4

Diagrama de composición para mezclas azeotrópicas.



Nota. Adaptado de *Rediseño de la columna de extracción líquido-líquido y ensayo didáctico*, (p. 16), por A. Rivera y M. Hansen, 2017, Universidad de Guayaquil.

2.2.2. Destilación batch con rectificación

La destilación es una operación unitaria que tiene por objeto la separación o fraccionamiento, por vaporización, de mezclas líquidas miscibles y volátiles en sus componentes. Dicho fraccionamiento es posible aprovechando las diferentes presiones de vapor de los componentes que forman la mezcla a determinadas temperaturas (Ibarz, 2014).

La destilación se puede clasificar de acuerdo a varios criterios operativos, de acuerdo a la cualidad del destilador Arias (2011) menciona “destilador flash, destilador diferencial simple, destilador batch con rectificación, destilador continuo con rectificación, destilación azeotrópica, destilación extractiva” (p. 228).

El destilador batch o por lotes es una destilación diferencial, que comienza con un hervidor, inicialmente lleno, calentado a una velocidad constante. El vapor se elimina del sistema a medida que se va formando. Como el vapor es más rico en el componente más volátil, el líquido restante es más débil en el componente más volátil, dando como resultado que la composición del producto se modifique progresivamente. También se puede afirmar “Mientras que el vapor formado durante un período corto está en equilibrio con el líquido, el vapor total formado no está en equilibrio con el líquido residual. Al final del proceso, el líquido que no se ha vaporizado se elimina como producto de fondo” (Harker, et al, 2013, p. 591).

El proceso de separación de componentes de una mezcla en base a su volatilidad se conoce como destilación. Cuando no hay interacción entre las fases vapor y líquido, la operación se llama destilación simple. En cambio, cuando existe interacción entre ambas fases, se llama destilación rectificada. Durante esta última, la fase vapor se enriquece en el componente más volátil y la fase líquida se enriquece en el componente más denso. (Ibarz, 2014).

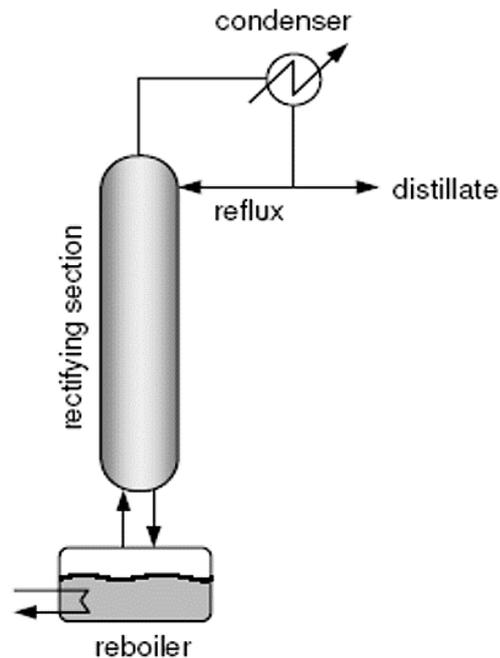
La destilación batch con rectificación como se muestra en la Figura 5, es por mucho el más importante y se diferencia de la destilación simple porque parte del vapor se condensa y se devuelve como líquido al hervidor. El mérito esencial de la rectificación es que permite obtener un vapor sustancialmente más rico en el componente más volátil que el líquido que queda en el hervidor. Esto se logra mediante la incorporación de una columna de rectificación que permite lograr la vaporización y la condensación sucesiva en una sola unidad (Cussler, 2013).

El funcionamiento de destilador batch es el siguiente: el lote total se alimenta al hervidor (parte inferior de la columna). El vapor generado en el hervidor asciende por la columna de rectificación hasta el condensador, el líquido condensado retorna a la columna de rectificación iniciando el flujo y contacto en contracorriente con el vapor que asciende (reflujo total). La destilación inicia luego de estabilizar la columna de rectificación, se controla la relación del reflujo de modo que, parte del condensado

retorne constantemente a la columna y poder garantizar la rectificación (Basmadjian, 2018).

Figura 5

Destilador batch con rectificación



Nota. Adaptado de *Batch processing modeling and desing* (p. 43), por U. Diwekar, 2014, CRC Press.

2.2.2.1. Importancia

La destilación por lotes es preferible a la destilación continua cuando es necesario separar pequeñas cantidades de productos químicos y bioquímicos de alta tecnología o alto valor añadido. La característica más destacada de la destilación discontinua es su flexibilidad. Esta flexibilidad permite hacer frente a las incertidumbres en la materia prima o la especificación del producto. Además, se pueden manejar varias mezclas simplemente cambiando las condiciones de operación de la columna (Diwekar, 2014).

En la destilación discontinua se puede obtener más de un producto. Así, se puede destilar una mezcla binaria de alcohol y agua para obtener inicialmente un alcohol de alta calidad. A medida que la composición del hervidor se debilita con respecto al alcohol, se puede retirar un segundo producto de la parte superior con una concentración reducida de alcohol. De esta forma es posible obtener no sólo dos

productos de diferente calidad, sino también reducir al mínimo el valor del alcohol en el hervidor. Este método de operación es particularmente útil para el manejo de pequeñas cantidades de mezclas orgánicas de varios componentes, ya que es posible obtener los diferentes componentes en grados razonables de pureza, a su vez. Para obtener la máxima recuperación de un componente valioso, la carga que queda en el hervidor después de la primera destilación se puede agregar al siguiente lote (Harker, et al, 2013).

2.2.3. Columnas de relleno

Las columnas de rectificación pueden ser a base de bandejas o material de relleno. El tipo de plato más simple es un plato tamiz, que es una placa que contiene orificios, de menos de 1 pulgada de diámetro. El propósito de los agujeros es que el vapor fluya hacia arriba a través de los agujeros y forme burbujas creando un área de superficie para la transferencia de masa. “El líquido baja por gravedad, mientras que el vapor asciende por la caída de presión, ya que tanto la temperatura como la presión son más altas en el fondo de la columna” (Turton y Shaeiwitz, 2017, p. 256).

Una columna de relleno es un recipiente cilíndrico lleno de material inerte. Mientras que, en una columna de platos, el área de transferencia de masa es creada por las burbujas del gas, en una columna de relleno el líquido recubre la superficie de empaque creando un área de transferencia de masa para el vapor. Al igual que en una columna de platos, el líquido fluye hacia abajo por gravedad y el vapor fluye hacia arriba debido a un gradiente de presión. (Harker, et al 2013)

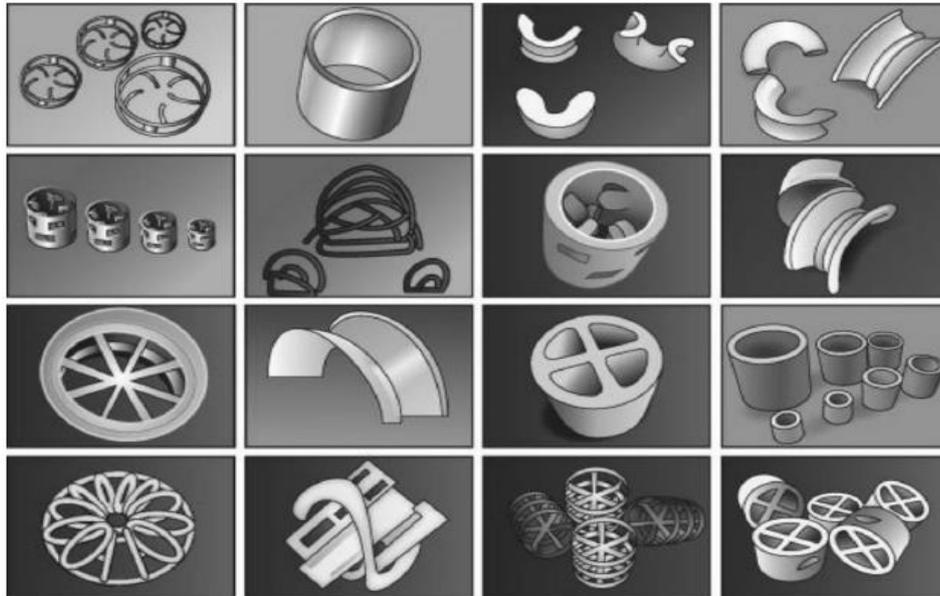
Las columnas de relleno tienen caídas de presión más bajas que las columnas de platos. Sin embargo, un problema frecuente es la mala distribución del flujo, es decir, la distribución desigual del líquido a través de la sección transversal, puede crear regiones de relleno seco sin recubrimiento, lo que reduce el área de transferencia de masa esperada, esto se manifiesta con mayor frecuencia en las columnas con mayor diámetro. (Turton y Shaeiwitz, 2017)

Hay dos tipos de empaque, empaque aleatorio y empaque estructurado. Turton y Shaeiwitz (2017) mencionan que los empaques aleatorios son objetos pequeños, para los cuales hay una multitud de formas como se muestra en la Figura 6, pueden ser de plástico, metal o cerámica, y la elección se basa en el costo y la compatibilidad química. La idea de usar empaques aleatorios o estructurados es lograr obtener la

máxima área de transferencia de masa, el coeficiente de transferencia de masa más grande y la caída de presión más baja.

Figura 6

Algunas formas de empaques aleatorios



Nota. Adaptado de *Chemical Process equipment design* (p. 304), por R. Turton y J Shaeiwitz, 2017, Prentice Hall.

2.2.3.1. Altura y diámetro de una columna de relleno

Existe varios métodos para obtener la altura de una columna empaquetada, una de estas es la altura equivalente a un plato teórico (*HETP*). En este método, el número de platos se calcula como si se diseñara una torre de platos.

$$Z = N(HETP) \tag{2.3}$$

$$HETP = H_{ov} \left[\frac{\ln\left(\frac{mV}{L}\right)}{\left(\frac{mV}{L} - 1\right)} \right] \tag{2.4}$$

Donde:

Z = altura de la torre

N = número de unidades de transferencia

L y V = son caudales molares internos de líquido y vapor, respectivamente

m = coeficiente de transferencia de masa.

El diámetro de una torre empacada se basa en el cálculo de inundación, el cual es causado por un arrastre excesivo. En base a la Figura A1 del Anexo 2 se obtiene la siguiente correlación:

$$\log \left[\frac{G_f^2 F \psi \mu^{0.2}}{\rho_L \rho_V g_c} \right] = -1,6678 - 1,085 \log F_{IV} - 0,29655 [\log F_{IV}]^2 \quad (2.5)$$

$$F_{IV} = \frac{LM_L}{VM_V} \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{0.5} \quad (2.6)$$

$$A = \frac{G}{G'} \quad (2.7)$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.8)$$

Donde:

gc	= 32,2 ft lb _m /(lb _r s ²)
ψ	= (ρ _{agua} /ρ _L),
F	= factor de empaquetamiento (Figura A2 del Anexo 2)
μ	= viscosidad (cP)
L y V	= caudales internos en unidades molares
M _L y M _V	= peso molecular del líquido y vapor
ρ _L y ρ _V	= densidad del líquido y vapor (kg/m ³)
G´	= porcentaje deseado de la velocidad de inundación (típicamente 70%–80% de inundación para una torre empacada) (lb/ft ² /s)
A	= área (ft ²)
D	= diámetro (ft)

Caída de presión

El líquido fluye hacia abajo a través de una columna debido a la gravedad y el vapor fluye hacia arriba debido a la diferencia de presión. Turton y Shaeiwitz (2017) nos presenta la siguiente correlación empírica para calcular la caída de presión en una torre empacada

$$\Delta P = \alpha (10^{BL'}) \left(\frac{G^2}{\rho_V} \right) \quad (2.9)$$

Donde:

α y β = está relacionado con el tipo de relleno, ver Figura A2 del anexo.

ρ_v = densidad de vapor (lb/ft³)

L y G = caudales máscicos superficiales (lb/ft/s)

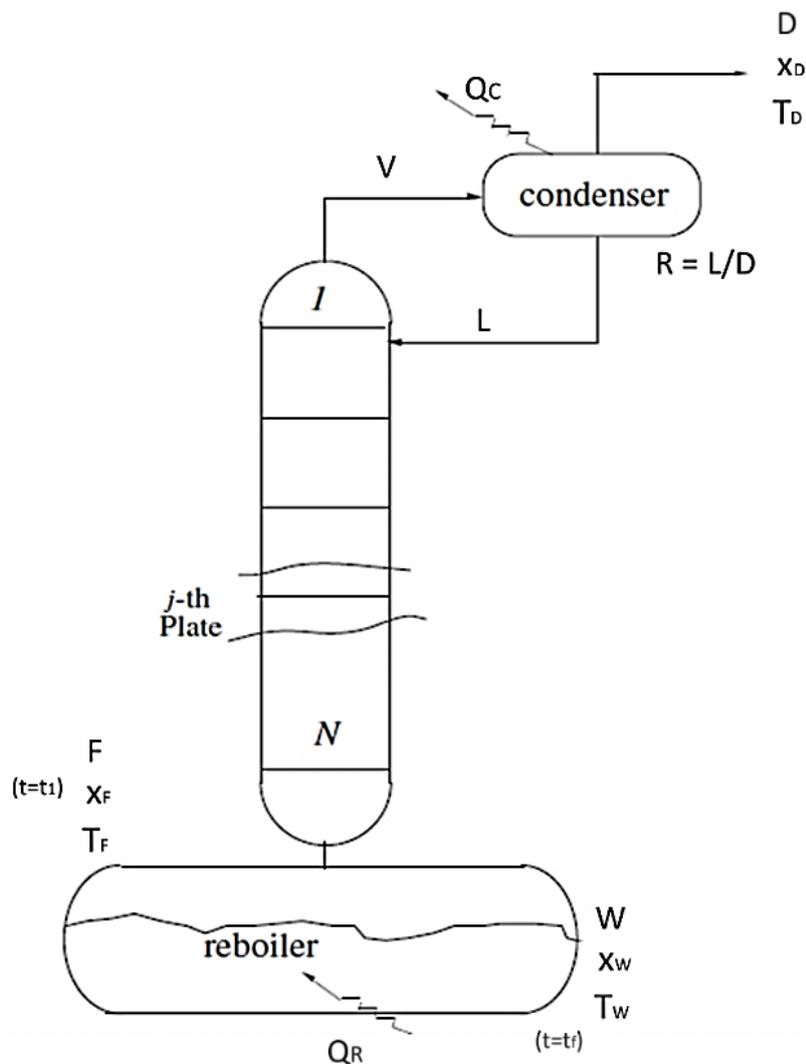
ΔP = inH₂O/ft altura empacada.

2.2.4. Balance de materia y energía

Considerando la Figura 7 se realiza el balance de materia en el equipo de destilación batch con rectificación.

Figura 7

Esquema del destilador Batch con rectificación



Nota. Adaptado *Batch distillation simulation, optimal design, and control*, (p. 16), por U. Diwekar, 2012, CRC Press.

Balance de materia global:

$$\text{Balance de materia} \quad F = D + W \quad (2.10)$$

$$\text{Balance del componente A} \quad Fx_F = Dx_D + Wx_W \quad (2.11)$$

Donde:

- F = carga molar de alimentación (kmol)
W ó B = carga molar de líquido en el residuo (kmol)
D = carga molar de destilado total (kmol)
 x_F = fracción molar de A en la alimentación
 x_W ó x_B = fracción molar de A en el residuo
 x_D = fracción molar de A en el destilado total.

Balance de materia alrededor del condensador:

$$V = D + L \quad (2.12)$$

$$R = \frac{L}{D} \quad (2.13)$$

Donde:

- V, L = caudales molares internos del vapor y líquido respectivamente (kmol/h)
R = es la relación de reflujo

Para Arias (2011) "El balance de materia total en el condensador permite determinar la cantidad de energía térmica neta retirada por el equipo" (p.260), a través de la siguiente expresión:

$$Q_C = D_T(1+R)(H_V - H_L) \quad (2.14)$$

Además, menciona: "La evaluación total del balance de energía en el destilador batch nos permite determinar la cantidad de energía térmica neta suministrada a la operación de destilación a través del hervidor" (Arias, 2011, p. 260)

$$Q_R = Q_C + D_T H_L + W H_W - F H_F \quad (2.15)$$

Donde:

- Q_R = calor neto total suministrado al destilador (kcal)
 Q_C = calor neto total suministrado al destilador (kcal)
F, W, D_T = alimentación, residuo y destilado total recogido (kmol)
H = entalpia molar específico de los respectivos materiales (kcal/kmol)

2.2.4.1. Líneas de operación

Puesto que existe sola una sección en la columna, la sección de rectificación, la línea de operación para esta sección es:

$$y_{n+1} = \frac{L}{L+D} x_n + \frac{Dx_D}{L+D} \quad (2.16)$$

En función de relación de reflujo (R) se tiene la siguiente expresión:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D \quad (2.17)$$

$$f = \frac{1}{R+1} x_D \quad (2.18)$$

Cuando se representa gráficamente esta línea de operación, ecuación (2.16), con la curva de equilibrio en el diagrama composición xy , es conveniente usar la construcción de McCabe-Thiele para calcular el número de platos ideales que se requiere para alcanzar una diferencia de concentración definida. (McCabe et al, 2016).

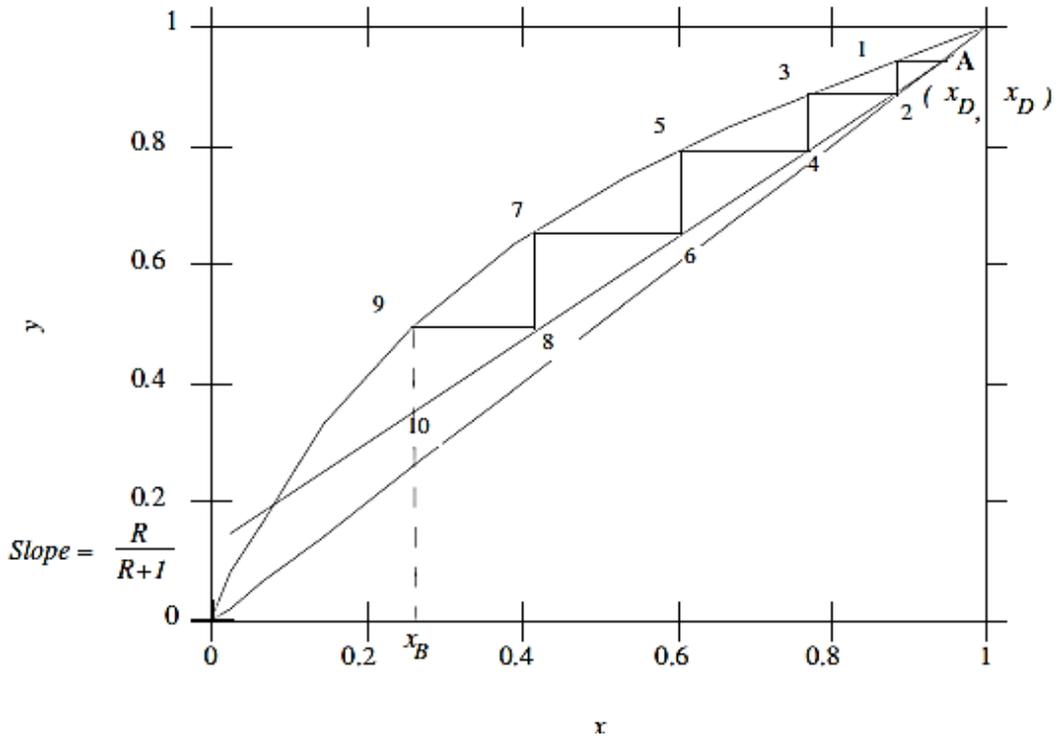
El diagrama de McCabe-Thiele se puede utilizar para representar la destilación utilizando columnas de platos o columnas empaquetadas. Para usar este el Método de es conveniente especificar las composiciones superior e inferior deseadas, elegir una relación de reflujo, y dibujar la línea operativa, ubicando el punto $x_D = y$ sobre la diagonal del diagrama composición y el valor de ϕ sobre el eje, a partir de la intersección como se observa en la Figura 8, el número de etapas se puede escalar comenzando de la parte superior alternando líneas horizontales y verticales. Una línea horizontal a la curva de equilibrio es la solución al equilibrio en una bandeja, y la línea vertical a la línea de operación es el balance de materia en esa bandeja (Turton y Shaeiwitz, 2017).

Welty, Rorrer y Foster (2020) mencionan que el diagrama de McCabeThiele relaciona la composición del destilado x_D con la composición del hervidor x_B a través del número de etapas. En la destilación discontinua o por lotes, la composición en el hervidor x_B no permanece constante como en la destilación continua. Esto requiere el uso del diagrama recursivo varias veces. Si se utiliza el diagrama de McCabeThiele, mientras se mantiene constante la relación de reflujo durante toda la operación, como en una columna de destilación continua normal, la composición del destilado seguirá cambiando con el trascurso de la destilación; de igual manera se puede mantener

constante la composición de un componente clave cambiando la relación de reflujo. Entonces existe dos métodos básicos para operar una columna de destilación por lotes cuando el reflujo es constante y composición del producto es variable y cuando el reflujo es variable y composición del producto es constante.

Figura 8

Diagrama McCabe-Thiele



Nota. Adaptado de *Batch distillation simulation, optimal design, and control*, (p. 19), por U. Diwekar, 2012, CRC Press.

2.2.5. Sistema de reflujo

El destilador batch con rectificación se puede operar principalmente bajo dos sistemas de reflujo.

2.2.5.1. Operación a reflujo variable

En este modo de operación, la relación de reflujo se cambia continuamente para mantener constante la composición de un componente clave (Cussler, 2013).

Harker, Backhurst, y Richardson (2013) consideran el caso de una columna con cuatro platos ideales utilizada para separar una mezcla de alcohol etílico y agua.

Inicialmente hay S_1 moles de licor de fracción molar X_{S1} con respecto al componente más volátil. El producto superior debe mantener constante una fracción molar x_d , y esto requiere una relación de reflujo R_1 . Si se va a continuar la destilación hasta que haya S_2 moles en el hervidor, de fracción molar X_{S2} , entonces, para el mismo número de platos, la relación de reflujo habrá aumentado a R_2 . Haciendo uso del Método de McCabe -Thiele como se observa en la Figura 9, se tendrá que trazar varias líneas operativas manteniendo constante el punto x_D a fin de obtener el resultado esperado.

Si se supone que la relación de reflujo R se ajusta continuamente para mantener el producto superior con una calidad constante, entonces, en cualquier momento, la relación de reflujo estará dada por:

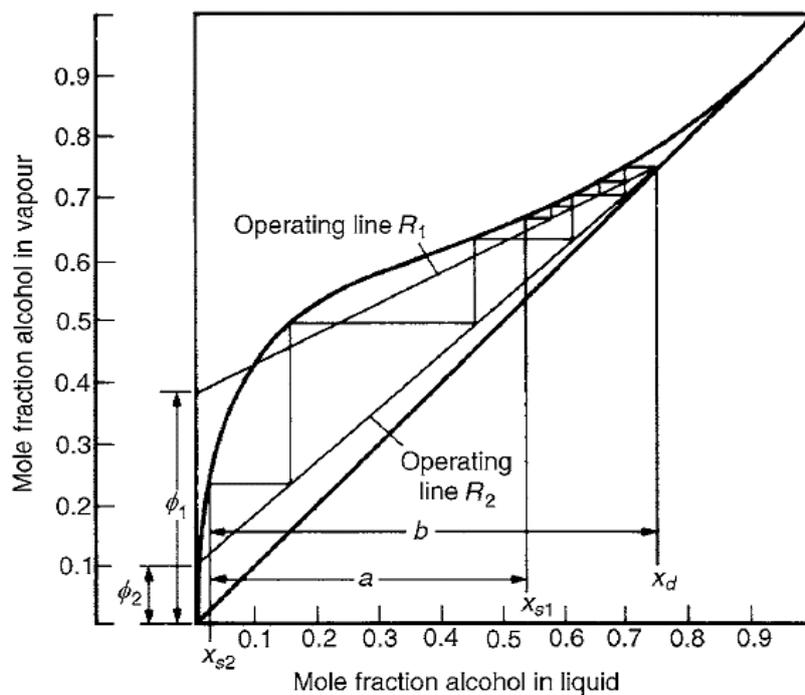
$$R = \frac{dL}{dD} \quad (2.19)$$

Y durante el curso de la destilación, el líquido del reflujo total que baja por la columna será:

$$\int_0^L dL = \int_{R=R_1}^{R=R_2} R dD \quad (2.20)$$

Figura 9

Operación a Reflujo variable



Nota. Adaptado de *Chemical engineering*, (p. 594), por J. Harker, J. Backhurst y J. Richardson, 2002, Elsevier.

Para proporcionar el reflujo dL se requiere la eliminación de una cantidad de calor igual a λdL en el condensador, donde λ es el calor latente por mol. Entonces, el calor a suministrar en la caldera Q_R para proporcionar este reflujo durante la destilación total será:

$$Q_R = \lambda \int_0^L dL = \lambda \int_{R=R_1}^{R=R_2} R dD \quad (2.21)$$

Esta ecuación se puede integrar gráficamente si se conoce la relación entre R y D_b . Para cualquier valor deseado de R , se puede obtener x_s dibujando la línea de operación y marcando los pasos correspondientes al número dado de etapas.

2.2.5.2. Operación a reflujo constante

Si la columna opera a una relación de reflujo (R) constante, la concentración del componente más volátil en el producto de cabeza caerá continuamente. Para capturar la dinámica de la columna de destilación por lote, se puede utilizar la ecuación de Rayleigh junto con el método gráfico de McCabe como se muestra en la Figura 10. En este procedimiento, la relación entre x_D y x_B se determina recursivamente mediante el método gráfico de McCabe-Thiele. Luego, el lado derecho de la ecuación de Rayleigh (ecuación 2.22) se integra gráficamente trazando $1/(x_D - x_B)$ versus x_B . El área bajo la curva entre la composición del alimento x_F y la composición del alambique x_B ahora da el valor de la integral, que es $\ln(B/F)$ (Diwekar, 2012).

$$\ln\left(\frac{B}{F}\right) = \int_{x_F}^{x_B} \frac{dx_B}{x_D - x_B} \quad (2.22)$$

La composición promedio del destilado se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$x_D = \frac{F x_F - B x_B}{F - B} \quad (2.23)$$

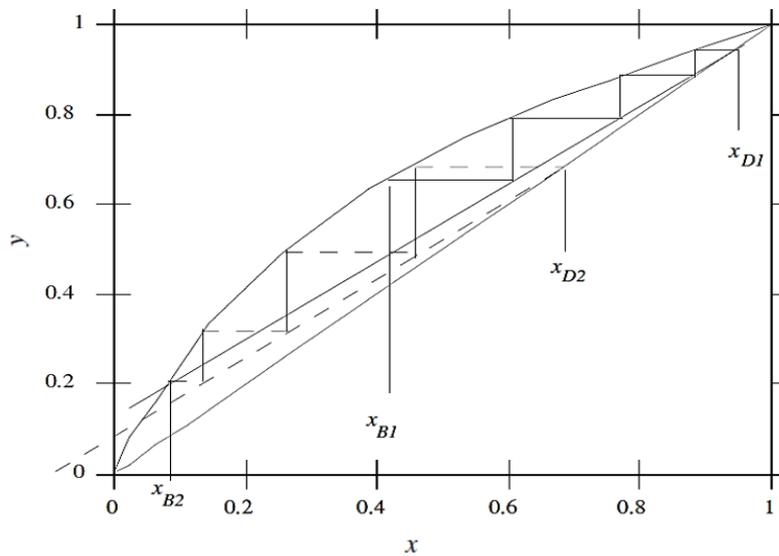
El tiempo se puede introducir a través de la tasa de ebullición del vapor V del hervidor. La ecuación resultante para determinar el tiempo total del lote está dada por:

$$dB = \frac{V}{R+1} dt \Rightarrow t = \frac{R+1}{V} (F - B)$$

$$t = \frac{R+1}{V} D \quad (2.24)$$

Figura 10

Operación a Reflujo constante



Nota. Adaptado de *Batch distillation simulation, optimal design, and control*, (p. 20), por U. Diwekar, 2012, CRC Press.

2.2.6. Sistema de adquisición de datos

La adquisición de señales es tomar un conjunto de señales físicas (muestras tomadas del mundo real para generar datos), convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar y mostrar, para esto, se requiere una etapa de acondicionamiento, que hace posible que la señal se adecue a niveles compatibles con el elemento que hace posible la transformación digital, la tarjeta de adquisición de datos (Cajas et al, 2012).

La adquisición de datos tiene como función básica la conversión analógica/digital de señales provenientes del mundo real, por ejemplo, fenómenos físicos o eléctrico tales como temperatura, presión, sonido, voltaje o corriente (National Instruments, 2022). Un sistema de adquisición de datos es un grupo de hardware y software que posibilitan interactuar con el mundo real.

2.2.6.1. Característica

La característica principal de los sistemas de adquisición de datos (SAD), en comparación con un sistema tradicional de medida, es otorgar una mejor velocidad de procesamiento de datos en tiempo real. Ramírez y Hernández (2017) menciona que una SAD consta de un hardware modular, un software de aplicación y un

ordenador para realizar el procesamiento de datos. Esto conlleva a conocer: “las especificaciones de las entradas analógicas, número de canales, velocidad máxima de muestreo, resolución de los datos, mecanismo de muestreo, Bus de comunicación, el aislamiento eléctrico del dispositivo y el Software controlador” (p.45).

La función de todo sistema de adquisición de datos es: adquirir, analizar y mostrar la información, para lograr esto una SAD incorpora: “señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicación” (Gutiérrez e Iturralde, 2017, p.80).

2.2.3. Conversión de señales

Hardware de adquisición, su función es convertir las señales analógicas a digitales y viceversa. La presión, temperatura, intensidad, etc., son magnitudes físicas que deben ser convertidas a señales eléctricas para ser fáciles de manipular y procesar en sistemas electrónicos, el acondicionamiento de la señal depende del tipo de sensor que se utilice (Ramírez y Hernández, 2009).

2.2.3.1. Sensores

Dentro de las SAD un sensor es conocido como un transductor, estos son dispositivos que convierte un fenómeno físico o químico del exterior y transformarla en otra magnitud o señal eléctrica que pueda ser cuantificada y manipulada (Cajas et al, 2012).

Gutiérrez e Iturralde (2017) mencionan que hay transductores específicos para diferentes aplicaciones Tabla 1, por ejemplo, para medir temperatura, presión, flujo de fluidos, etc. Dependiendo al transductor utilizado las señales pueden ser analógicas o digitales.

Tabla 1

Lista de algunos de los transductores más comunes

FENÓMENO	TRANSDUCTOR
Temperatura	Termocuplas
	Detectores resistivos de temperatura (RTDs)
	Termistor

FENÓMENO	TRANSDUCTOR
Luz	Fotosensor
	Celdas fotoconductoras
Sonido	Micrófono
Fuerza y presión	Galgas extensiométricas
	Transductor piezoeléctrico
	Celdas de carga
Posición (desplazamiento)	Potenciómetros
	Transformador diferencial de voltaje lineal (LVDT)
	Codificadores ópticos
Flujo de Fluido	Medidor de caudal
	Medidor rotatorio de flujo
	Medidor ultrasónico de flujo

Nota. Tomado de *Acondicionamiento de señales analógicas utilizando módulos portables SCC para el laboratorio de mecatrónica*, (p. 52), por M. Carmona y S. Ortiz, 2011, ESPC.

2.2.3.1.1. Señal Analógica

Son señales que pueden presentarse en forma de voltaje, tensión o de corriente cuya variación en amplitud y tiempo son continuas. Su desventaja es, no pueden ser manipuladas, procesadas o almacenadas por el un sistema electrónico digital. (Vallverdú et al, 2021)

2.2.3.1.2. Señal Digital

Estas señales no tienen variación continua como las analógicas, tienen dos niveles específicos que se alternan en el tiempo. Es decir, se diferencia entre señales discretas en amplitud y señales discretas en tiempo. (Vallverdú et al, 2021)

2.2.3.2. Convertidores analógico digital

El proceso de Conversión Analógico Digital (ADC) comprende tres etapas, el primero es el muestreo en el cual se mide la amplitud de la señal analógica en intervalos de tiempo definido, la segunda es la cuantización, las amplitudes continuas se convierten a discretas y finalmente, la codificación, a cada nivel de cuantización se

asigna un código (binario). La importancia de convertir señales analógicas a señales digitales surge por varios motivos, entre ellas que los datos se pueden almacenar, transmitir, procesar y analizar, tomar una acción de control y, de ser necesario corregir o modificar el comportamiento de dicha señal. (Gutiérrez e Iturralde, 2017)

2.2.4. Tarjeta de Adquisición de Datos

Las Tarjetas de Adquisición de datos (DAQ) funcionan como dispositivos que digitalizan señales analógicas entrantes para luego ser interpretadas por una computadora.

2.2.4.1. Microcontrolador

Los microcontroladores o microcomputadoras son dispositivos que capaces de buscar y ejecutar continuamente instrucción tras instrucción, siempre que no estén apagados. Estas instrucciones son electrónicas, generalmente representadas por un grupo de bits. Un microcontrolador tiene una unidad central de procesamiento (CPU), memoria, puertos de entrada/salida (E/S), temporizadores, contadores, convertidor de analógico a digital (ADC), convertidor de digital a analógico (DAC), puertos seriales, lógica de interrupción, circuitos osciladores y muchos más bloques funcionales, todo contenido en un solo chip. Son dispositivos que pueden ser programados gracias a la capacidad de memoria y procesamiento de datos que poseen (Rafiquzzaman, 2018).

En el microcontrolador se puede guardar un programa que desempeñe una tarea específica gracias a sus líneas de entrada y salida, lo que le permite conectarse a los sensores y actuadores de la disposición que se quiere controlar. Una vez programado y configurado, el microcontrolador solo es utilizado para realizar la tarea asignada (Ramírez y Hernández, 2017, p. 35).

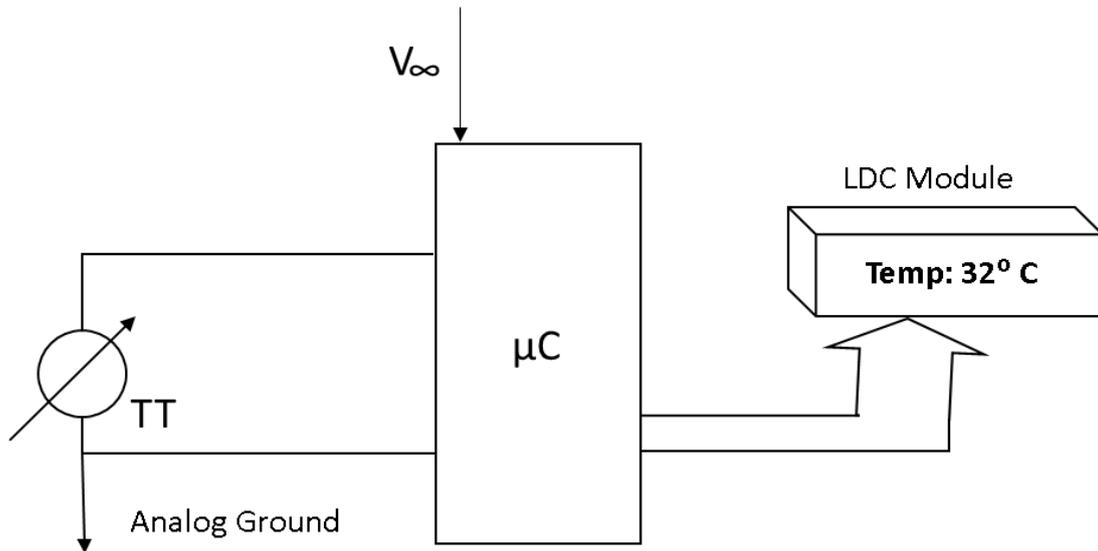
2.2.5. Software para la adquisición de datos

El software permite interactuar entre la computadora y el hardware, permite configurar la tasa de muestreo de la tarjeta, adquirir datos y visualizar. El software es quien controla y administra los recursos del computador, presenta los datos y participa en el análisis, para los sistemas de adquisición de datos se necesita de un software de instrumentación, que sea flexible y de fácil manejo. Algunos de los

programas y lenguajes de programación para este fin son: LabVIEW, MATLAB, Arduino, C++, entre otros.

Figura 11

Indicador de temperatura basado en microcontrolador



Nota. Temperature Transmitter (TT), Liquid Crystal Display (LCD), Microcontrolador IC (μ C). Tomado de *Microcontrollers: theory and applications*, (p.4), por A. Deshmukh, 2005, McGrawHill.

2.2.5.1. Arduino

El concepto Arduino surgió en Italia en 2005, su objetivo fue crear un dispositivo que fuera capaz de controlar proyectos y construir prototipos, a un costo accesible que otras plataformas disponibles en el mercado. Arduino logra incorporar diferentes tipos de componentes electrónicos dirigidos y programados para una determinada actividad. Dicha plataforma utiliza el microcontrolador ATMEGA (chip controlador grabable), la función es recibir y entregar el flujo de información de manera controlada por un software (Circuits today, 2014).

La plataforma Arduino es de código abierto basada en hardware y software para las áreas de automatización y robótica. Rafiquzzaman (2018) menciona que el lenguaje de programación con el que trabaja Arduino consiste en un conjunto de funciones de lenguaje C. La plataforma y los archivos tienen licencia de Creative Commons, lo que permite tanto el uso personal como el comercial y los trabajos derivados, siempre que se dé crédito a Arduino y sus proyectos se publiquen bajo la misma licencia.

2.2.6. Bus de comunicación

Para trasladar la información adquirida a un ordenador es necesario contar con un Bus de comunicación, esta interfaz permite la comunicación del dispositivo DAQ con la computadora., como ejemplo de bus de comunicación se tiene: los Ethernet, USB, PCI Express y PCI, cada uno otorga ciertas ventajas dependiendo de las aplicaciones (Mendoza, 2019).

La elección del bus de comunicación depende de las características de aplicación, generalmente se definen el ancho de banda que mide la velocidad a la cual los datos son enviados a través del bus, generalmente en Mega bytes/s, y la latencia que mide el retraso en la transmisión de datos. Una menor latencia involucra menor tiempo de retraso entre los datos que son transmitidos (Ramirez y Hernández, 2017).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2007), la investigación aplicada está estrechamente relacionada con la investigación pura, ya que depende de sus conocimientos y aportes teóricos. La investigación aplicada es el estudio o aplicación de la investigación a problemas específicos, está dirigida a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías. considerando la definición y de acuerdo a los propósitos que se persigue, la investigación es de tipo aplicada y el nivel experimental.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está conformada por todos los equipos de destilación, se usó el muestreo no probabilístico para elegir la muestra de estudio del laboratorio de transferencia de masa de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, donde se obtuvo como muestra el destilador batch con rectificación.

3.3. VARIABLES

- **Variable independiente: (X)**
Destilador batch con rectificación
- **Variable dependiente: (Y)**
Sistema de adquisición de datos
- **Variable interviniente:**
Mezcla etanol-agua

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de la variable independiente

Variable independiente	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición
Destilación batch con rectificación	La destilación simple se ha mejorado incorporando una columna de rectificación, lo que le permite al sistema tener contacto múltiple. La inyección del líquido conocido como reflujo permite un aumento significativo en la concentración del producto resultante.	Columna de rectificación	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de la columna • Diámetro de la columna 	<ul style="list-style-type: none"> • m • m
		Tipo de relleno	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de relleno • Diámetro del relleno 	<ul style="list-style-type: none"> • m • m
		Condensador tipo serpentín	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de entrada y salida fluido refrigerante • Caudal del fluido refrigerante 	<ul style="list-style-type: none"> • °C • L/min
		Relación de reflujo	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de líquido (L) • Caudal de vapor (V) • Caudal de destilado (D) 	<ul style="list-style-type: none"> • kmol/h • kmol/h • kmol/h
		Capacidad del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del tanque de alimentación • Altura del tanque de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> • m • m

Tabla 3

Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición
Sistema de adquisición de datos	La adquisición de señales implica tomar un grupo de señales físicas, transformarlas en voltajes eléctricos y luego digitalizarlas. La pieza responsable de la conversión a formato digital es conocida como la tarjeta de adquisición de datos.	Señales físicas y digitales	<ul style="list-style-type: none"> • Conversor analógico-digital • Conversor ADC Arduino 	<ul style="list-style-type: none"> • Bits • Bits
		Tarjeta de adquisición de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino • Microcontrolador 	<ul style="list-style-type: none"> • Bits • Bits

Tabla 4

Operacionalización de la variable interviniente

Variable interviniente	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Mezcla etanol-agua	Las mezclas binarias constan solo de dos componentes y pueden ser separados mediante destilación, tomando en cuenta el equilibrio líquido-vapor..	Termodinámica equilibrio líquido vapor	<ul style="list-style-type: none">• Diagrama composición-temperatura• Diagrama de composición

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

- Observación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos de los sensores.
- Calibración de sensores, y componentes del SAD

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- Sensores de temperatura, caudal, nivel y microcontroladores
- Ficha técnica de los sensores y componentes del SAD

3.6. MATERIALES Y EQUIPOS

Se detallan las características más importantes de los equipos, componente y materiales utilizados en la investigación.

3.6.1. Equipo de destilador batch con rectificación

Es un equipo en vidrio QVF, en la Figura 12 se puede observar las partes del equipo como es el hervidor, tanque de alimentación, columna de rectificación con relleno tipo anillos de Raschig, unidad de reflujo electromecánico y un condensador tipo serpentín, las dimensiones de este condensador se observan en la Figura 13.

Las características del equipo de destilación batch con rectificación se detallan en la Tabla 5. En cuanto a sensores, el equipo cuenta únicamente con sensores de temperatura tipo analógico.

Figura 12

Partes del equipo de destilación batch con rectificación

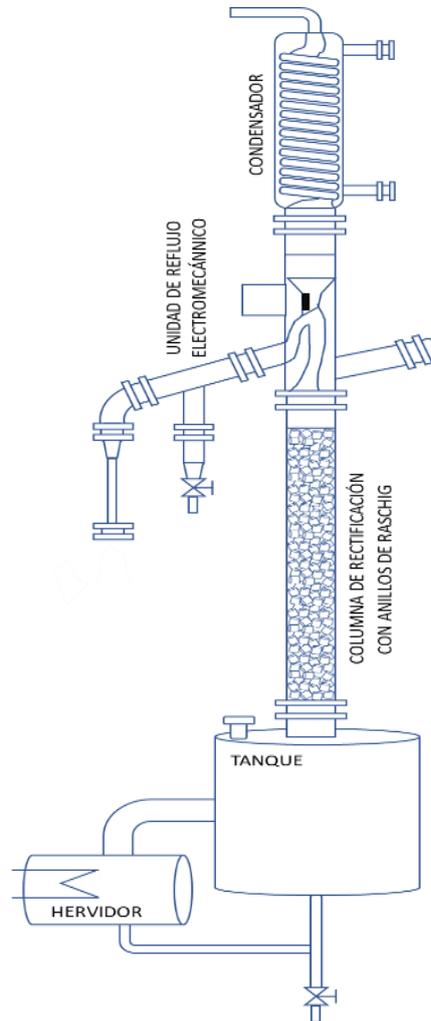


Figura 13

Dimensiones del condensador tipo serpentín

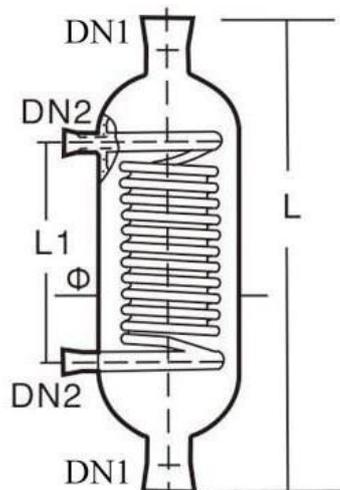


Tabla 5 Características del destilador batch con rectificación

Destilador batch con rectificación			
Hervidor	Resistencias	2 de 1500 W y 1 de 1000 W	
Tanque	Capacidad	Min 12 L - Máx. 30 L	
Columna de rectificación	Material	Vidrio QVF	
	Altura	0,63 m	
	Diámetro	0,088 m	
	Relleno	Material	Anillos de Raschig QVF
Altura		0,60 m	
Dimensiones		H = 0,009 m ϕ = 0,009 m Di = 0,006 m	
Sistema de reflujo	Imán electromagnético		
Condensador	Característica	Intercambiador de serpentín QVF de tipo HC	
	Dimensiones	DN1	0,076 m
		DN2	0,02 m
		L	0,54 m
		L1	0,45 m
		ϕ	0,076 m

3.6.2. Componentes del sistema de adquisición de datos

Debido a que el equipo no contaba con componentes digitales, se incorporó los siguientes componentes digitales: sensores de temperatura, caudal y nivel, Arduino, pantalla LCD, etc.

3.6.2.1. Sensor de caudal

Sensor de flujo de agua YF-S201 como se muestra en la Figura 14, es un equipo con una válvula de plástico, un rotor y un sensor de efecto Hall magnético integrado.

Figura 14

Sensor de flujo YF-S201



Nota. Caudalímetro de ½ pulgada. Adaptado de YF-S201 caudalímetro [fotografía], por Geek factory, 2022, (<https://www.geekfactory.mx>).

El proceso funciona así: La hélice del rotor gira cuando el agua o líquido pasa a través de la válvula, y su velocidad está directamente relacionada con la velocidad del flujo. El sensor de Hall emite un pulso eléctrico cada vez que el rotor gira. Al contar los pulsos emitidos por el sensor, se puede calcular el flujo de agua. La frecuencia de los pulsos depende de la velocidad del flujo, la presión del fluido y la posición del sensor. Se ha realizado una calibración previa para asegurar una precisión superior al 10%. La Tabla 6 muestra las especificaciones técnicas del sensor.

Tabla 6

Características técnicas del sensor de caudal

Sensor de caudal YF-S201	
Tipo de sensor	Efecto Hall
Voltaje de operación	5 V a 18 V DC
Temperatura de operación	-25 a 80 °C
Humedad de operación	35 a 80%
Rango de flujo	1 a 30 L/min
Precisión	± 2%
Presión de trabajo máximo	1,75 MPa (17bar)
Velocidad del flujo	Frecuencia (Hz)=7,5·caudal (L/min)
Pulsos por litro	450
Número de Pines	3 (VDD, GND, DQ)

3.6.2.2. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura digital DS18B20 como se observa en la Figura 15, es un dispositivo que no necesita reconfiguración o ajuste debido a que contienen un convertidor analógico a digital (ADC) de precisión.

Figura 15

Sensor de temperatura DS18B20 con encapsulado metálico



Nota. Adaptado de *DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino* [footgrafia], por Programarfacil.com, 2022, (<https://programarfacil.com>).

El sensor de temperatura digital DS18B20 proporciona mediciones de temperatura que van de 9 a 12 bits y se comunica a través del bus 1-Wire con el microprocesador central. La Tabla 7 muestra las características técnicas del sensor.

Tabla 7

Características técnicas del sensor de temperatura

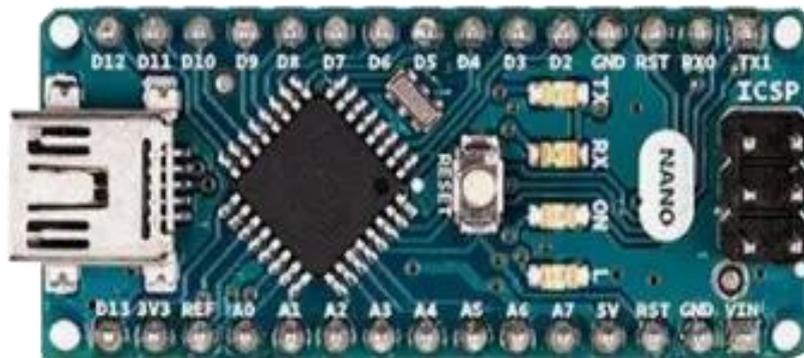
Sensor de temperatura DS18B20	
Tipo	Sensor de temperatura impermeable
Rango de temperatura	-55 °C a 125 °C
Precisión	± 0,5 error (– 10 °C a + 85 °C)
Suministro de voltaje	3,0 V min – 5,5 V máx
Resolución programable	9 a 12 bits
Tipo de comunicación	Bus 1-wire
Número de Pines	3 (VDD, GND, DQ)
Usos	Sistemas de monitoreo en edificios, equipos, máquinas, procesos y sistemas de control

3.6.2.3. Arduino Nano

El Arduino Nano como se muestra en la Figura 16, tiene incorporado el microcontrolador ATmega328P que es encargado de controlar el funcionamiento de SAD. Contiene un total de 20 pines de entrada y salida (E/S) y su sistema de reloj determina la velocidad de trabajo del microcontrolador.

Figura 16

Arduino Nano



Nota. Arduino nano es una versión reducida de Arduino Uno R3 pero tiene dos pines analógicos adicionales. Adaptado de *Arduino nano* [fotografía], por Arduino, 2022, (<https://arduino.cl/arduino-nano>).

La Tabla 8 muestra las principales características técnicas del Arduino Nano.

Tabla 8

Características técnicas del Arduino Nano

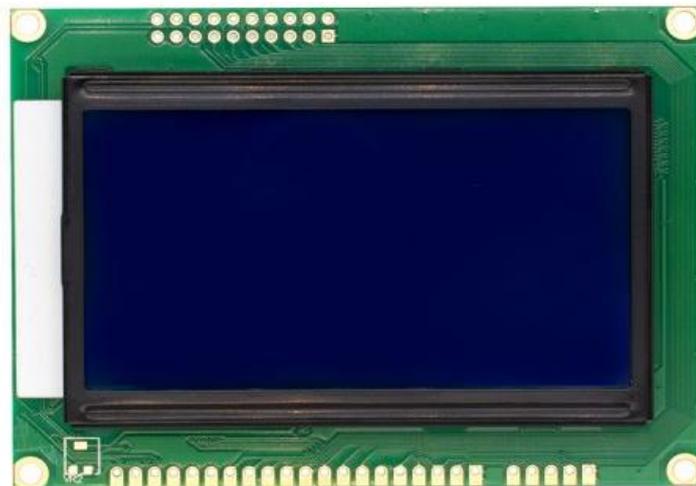
Arduino nano	
Microcontrolador	ATMega328P
Arquitectura	AVR
Velocidad de reloj	16 MHz
Voltaje de trabajo	5 V
Voltaje de entrada	7,5 V a 12 V
Pines E/S	14 digitales (6 PWM) y 6 analógicos
Hardware	1 puerto serie
Memoria	32 kB Flash (2 KB para-Bootloader), 2 kB RAM y 1 kB EEPROM

3.6.2.4. Display LCD gráfico

Para el monitoreo de la operación se trabajó con una pantalla LCD grafica de modelo YB12864ZB como se observa en la Figura 17, este dispositivo facilita visualizar los datos en tiempo real y lograr la interfaz hombre máquina.

Figura 17

Display LCD gráfico



Nota. Pantalla para mostrar gráficos y texto. Soporta comunicación por interfaz paralela 8 bits y serial SPI. Adaptado de *Display LCD gráfico 128x64* [fotografía], por naylampmechatronics, 2022. (<https://naylampmechatronics.com>).

La Tabla 9 muestra las características técnicas de la pantalla LCD, como la corriente de alimentación que es de 5 voltios de corriente directa (DC).

Tabla 9*Características del Display LCD gráfico*

Display LCD gráfico 128x64	
Modelo	YB12864ZB
Chip controlador	ST7920
Modelo de placa	12864B
Voltaje de operación	5 V DC
Soporta interfaz	Paralelo (4 u 8 bits) y Serial SPPI
Resolución	128 x 64 pixeles
Tamaño de pixel	0,48 x 0,48 mm
Área visual	72 x 40 mm
Área activa	66,52 x 33,24 mm

En todo sistema de adquisición de datos se toma muestras del mundo real para ser documentados, analizados o manipulados a través de un ordenador. Para esto el sistema operativo del ordenador debe cumplir ciertas características para facilitar la instalación y programación de los software labVIEW, la Tabla 10 muestra los requisitos mínimos del ordenador para la instalación del software.

Tabla 10*Requisitos del sistema operativo windows para LabVIEW*

	Mínimo	Recomendado
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o su equivalente	Pentium 4/M o su equivalente
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de la pantalla	1024 x 768 pixeles	1024 x 768 pixeles
Sistema Operativo	Windows Vista/XP/2000	Windows Vista/XP
Espacio en Disco	1,6 GB	1,6 GB (Nota: Incluye drivers por default en el CD NI Device Drivers)

Nota. Adaptado de *¿Cuáles Son los Requerimientos Mínimos del Sistema para LabVIEW 8?*, 2022. (<https://digital.ni.com/>). Inc.

3.6.2.5. Componentes adicionales

- **Relé estado sólido SSR – 40 DA:** “Los Relay de estado sólido o SSR son útiles para controlar el encendido y apagado de equipos eléctricos de corriente alterna utilizando microcontroladores como Arduino, PIC, ESP8266, Raspberry Pi o PLCs” (Naylamp Mechatronics, 2022)
- **Módulo relay 1CH 5V DC:** Permite controlar el encendido/apagado de equipos de alta potencia (electrodomésticos)
- **Potenciómetro:** “Un potenciómetro es un componente electrónico similar a los resistores, pero cuyo valor de resistencia en vez de ser fijo es variable, permitiendo controlar la intensidad de corriente a lo largo de un circuito conectándolo en paralelo ó la caída de tensión al conectarlo en serie” (etsist, 2022).
- **Resistencias pull up:** Las resistencias pull-up y pull-down permite establecer voltajes de reposo para cuando el pulsador no este presionado asegurando una correcta lectura.
- **Transformador** de 220 V a 12 V, 220 V (AC) a 280 (DC)
- **Led** o diodo emisor de luz
- **Switch on/off**
- **Accesorios:** unión universal, codo de 90°.

3.7. Diseño de la investigación

Como se muestra en la Figura 18, para realizar el diseño de la investigación se inició con el levantamiento de la información, el cual comprende el estudio de los factores ambientales de trabajo y las condiciones en las que se encuentra el equipo de destilación batch, recabada esta información se optó por seleccionar los componentes adecuados y necesarios para llevar a cabo la instalación del sistema de adquisición de datos.

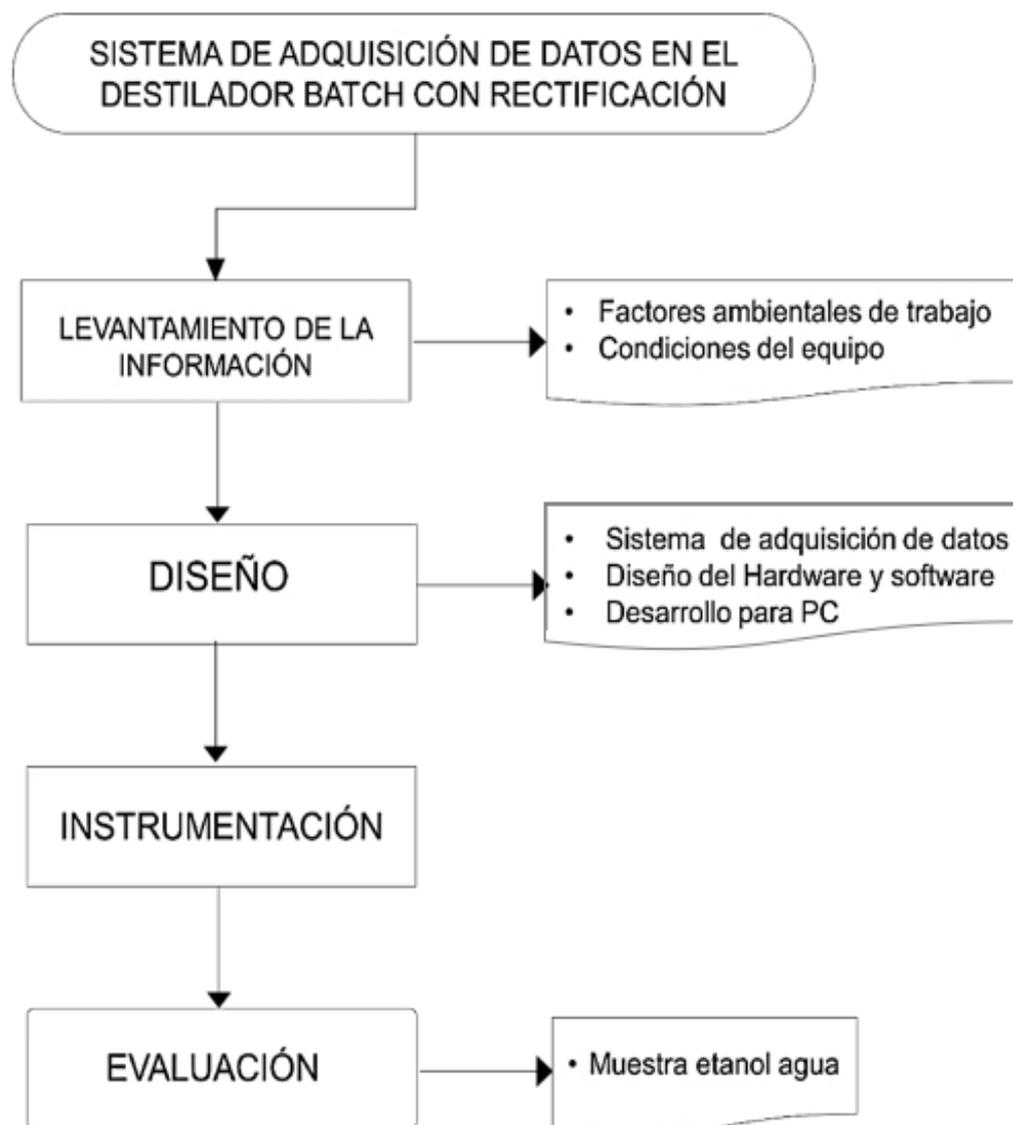
La siguiente etapa fue realizar el diseño del SAD, realizar la placa de circuitos y la programación en la IDE de Arduino, así como el diseño y programación en el front panel y block diagram de LabVIEW.

La instrumentación fue la etapa donde se realizó el acoplamiento de los sensores y de esta manera generar el registro de las variables operativas del proceso.

La última etapa comprende la evaluación de las variables operativas (temperatura, caudal, relación de reflujo, nivel) de la muestra etanol-agua, que fueron generadas a través del sistema de adquisición de datos.

Figura 18

Diagrama del diseño de la investigación



CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.1. CONDICIÓN DEL EQUIPO

Para desarrollar el sistema de adquisición de datos en el destilador batch fue necesario conocer las condiciones en la que se encontraba el equipo.

El equipo de destilación batch con rectificación del Laboratorio de Transferencia de Masa, es una unidad que carece de sistemas digitales para el monitoreo de variables. El monitoreo de la temperatura se realizaba de manera analógica, el equipo se muestra en la Figura 19, que dispone de seis sensores instalados en seis puntos estratégicos del equipo de destilación. Debido al continuo uso y falta de mantenimiento los sensores se fueron descalibrando y corroyendo, como fue el caso del sensor instalado en el tanque de alimentación. Para dar solución se instaló seis sensores de temperatura digital DS18B20.

Figura 19

Equipo de monitoreo de temperatura



En la practica la medida de caudal se realizaba con el uso de probetas y cronómetros como se muestra en la Figura 20, esta práctica estaba ligada a errores de lectura o mala coordinación. Para dar solución se instaló un sensor de caudal YF-S201.

Figura 20

Materiales para medir el caudal



Nota. Probeta y cronometro usados para medir el caudal del fluido que ingresa al condensador.

El hervidor carecía de un sistema de medida de nivel, esto ocasionó que una de las resistencias presentes en el hervidor resulte dañado, como se muestra en la Figura 21, el daño fue ocasionado posiblemente por la mala operación del equipo o por dejar que el equipo opere con el nivel de muestra por debajo de lo permitido. Para dar solución se construyó un sensor de nivel bajo que junto a un actuador permitirán proteger el equipo.

Figura 21

Resistencia dañada



Nota. resistencia de inmersión dañado por operación inadecuada del destilador.

La Figura 22 muestra el timer instalado en el equipo de destilación batch con rectificación, su función era controlar la relación de reflujo de forma analógica, debido al continuo uso el equipo empezó a sufrir descalibración. Se realizó el control de la relación de reflujo a través de un tablero de control, para ello se verificó la conexión que existe en el electroimán y se dispuso de componentes digitales que puedan sustituir al anterior.

Figura 22

Timer, controlador de la relación de reflujo



4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño del sistema de adquisición de datos para el destilador batch con rectificación se realizó mediante el empleo del Arduino y la construcción de circuitos electrónicos para la instalación de sensores a través de distintos componentes eléctricos, electromagnéticos y mecánicos.

Como primera etapa del proceso de diseño, además de la especificación de la información a registrar, se tomó en cuenta otros factores como: la flexibilidad del sistema para futuras mejoras, bajo peso, bajo consumo eléctrico, así como un mínimo costo de implementación. El diseño se muestra en el diagrama de la Figura 23.

Figura 23

Esquema del sistema de adquisición de datos

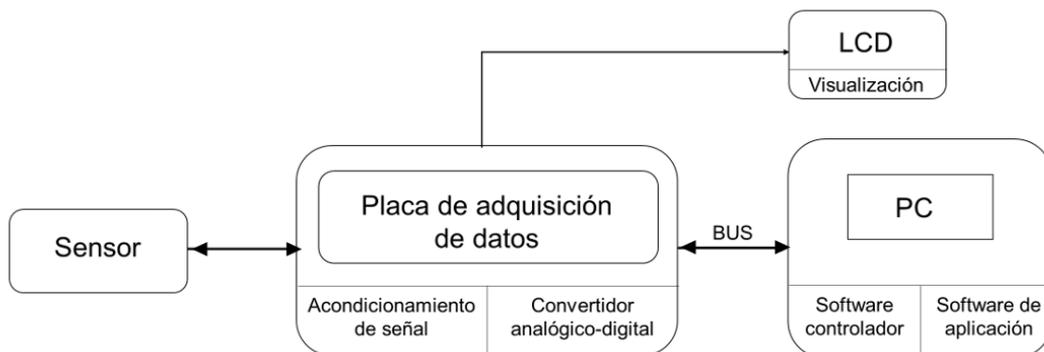
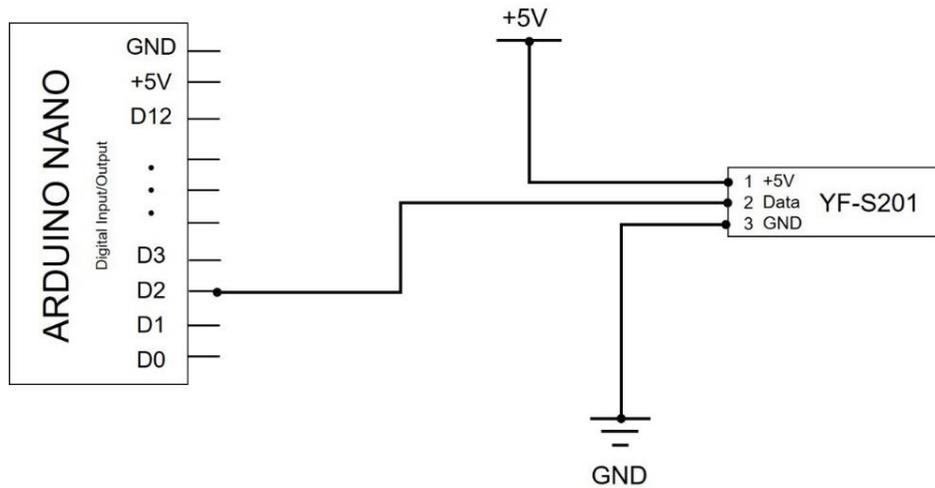


Figura 25

Circuito de conexión del sensor de caudal

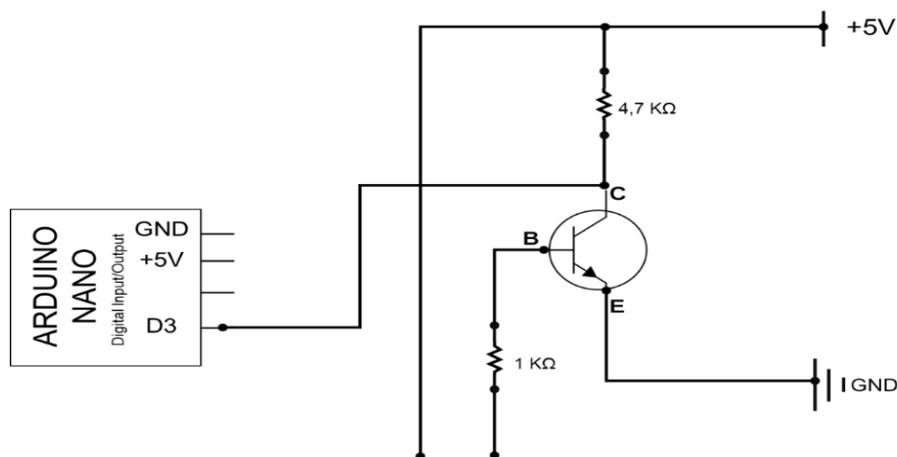


4.2.1.3. Sensor indicador de nivel mínimo

El sensor indicador de nivel es un dispositivo que fue construido a base de un transistor, resistencias y led, su objetivo es accionar el sistema de parada cuando el nivel de la muestra esté por debajo de la operación, el circuito de conexión se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Circuito de conexión de sensor indicador de nivel bajo



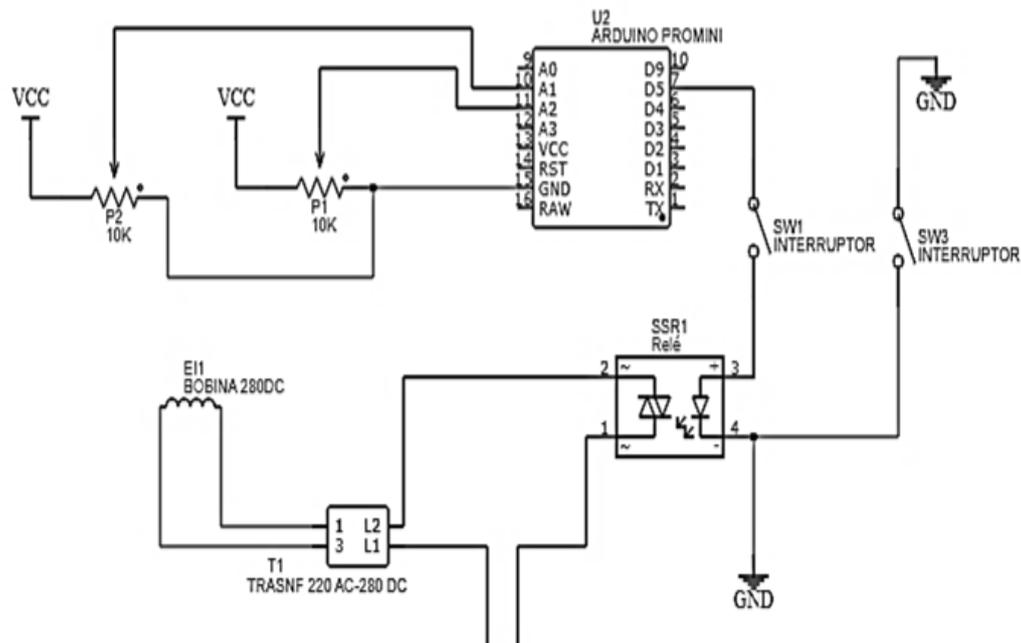
4.2.2. Módulo de relación de reflujo

Para el control del electroimán y fijar la relación de reflujo se acondicionó el Arduino Pro Mini a la cual se instaló dos enconder para poder fijar los valores de L, D y obtener

la relación de reflujo R, cada potenciómetro está conectado a dos pines analógicos A1 y A2 del Arduino pro mini, el circuito de conexión se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Conexión del electroimán para la relación de reflujo



4.2.3. Unidad central de procesamiento

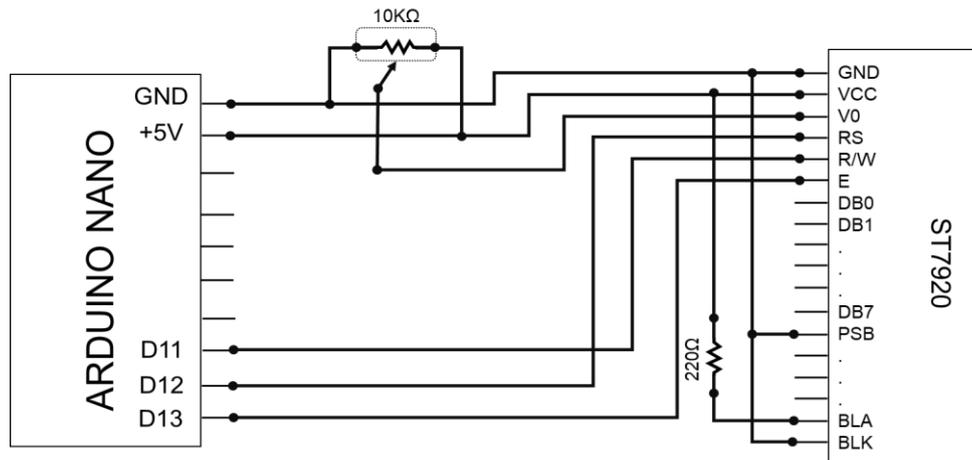
Se encarga de acondicionar, convertir y controlar el flujo de información enviado a través del bus de datos de cada uno de los sensores, realiza comandos para iniciar las mediciones y visualizarlas a través del monitor LCD. Además de realizar la comunicación con el ordenador.

4.2.3.1. Arduino nano

La plataforma de desarrollo Arduino nano es el encargado de controlar el sistema, presenta la información a través de la pantalla LCD. Esta pantalla se conectó a los pines digitales D11, D12, D13 del Arduino Nano como se muestra en la Figura 28.

Figura 28

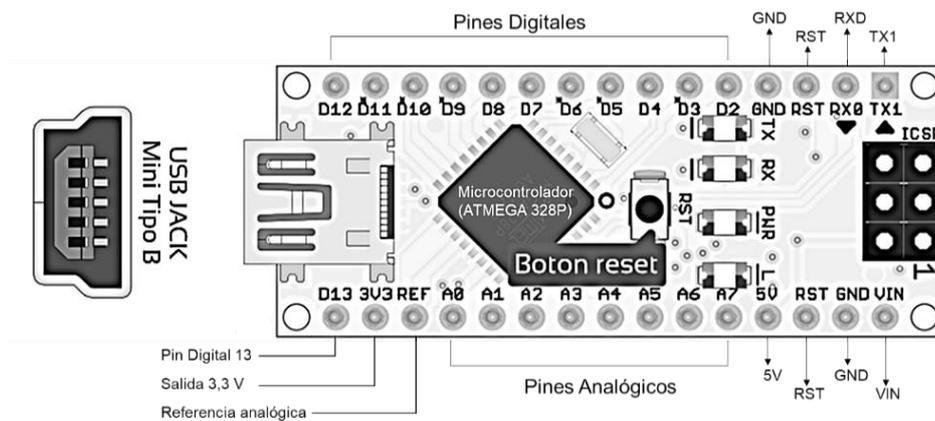
Circuito de conexión para el Display LCD



El Arduino Nano, como se muestra en la Figura 29, cuenta con varios pines digitales y analógicos, que pueden ser usados tanto de entrada como de salida (digital o analógica) y solo entiende dos valores 0 y 1, o valores de 0 a 5 voltios.

Figura 29

Componentes del Arduino nano

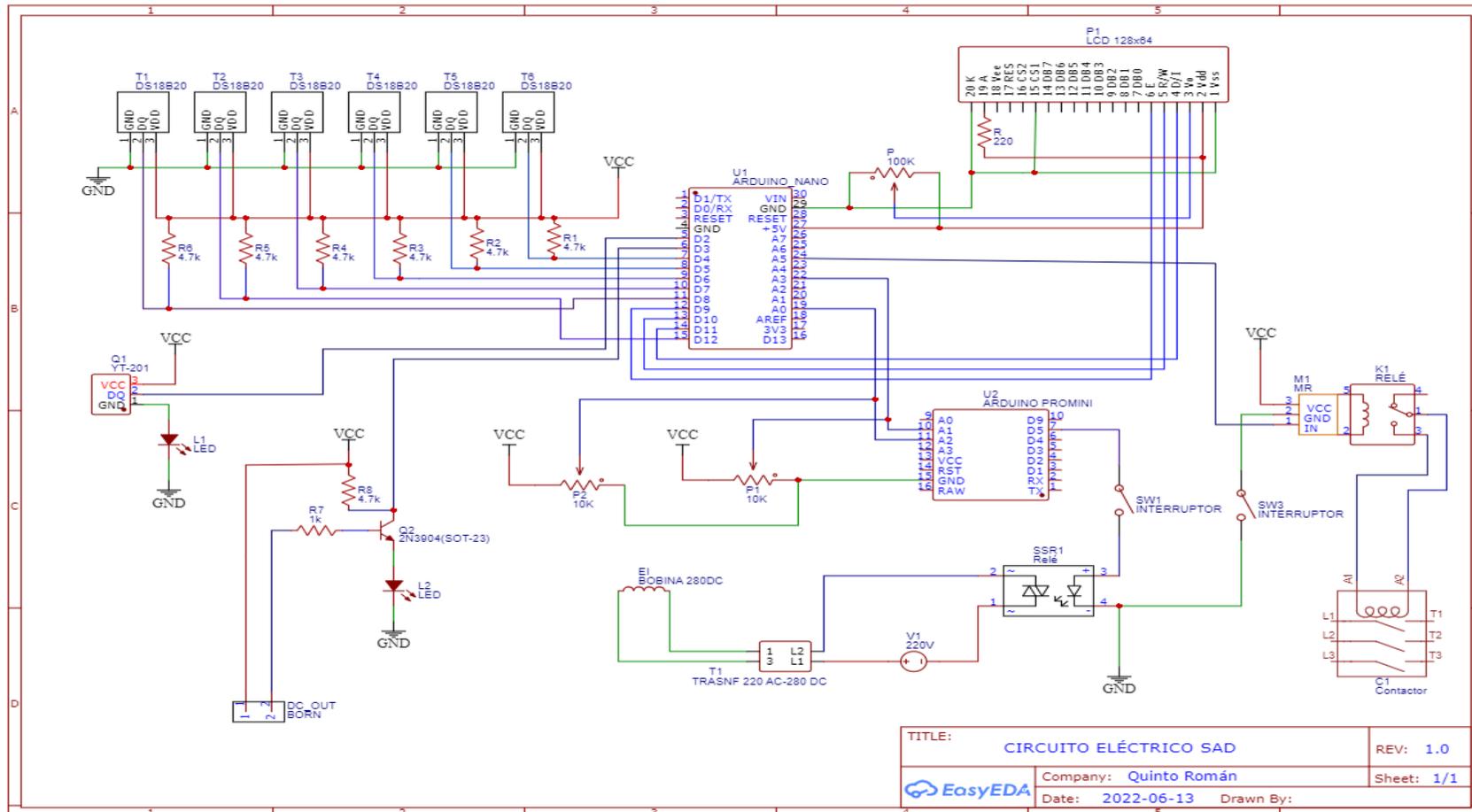


El sistema de adquisición de datos es alimentado a través del conector de entrada pin VIN, el cual recibe un voltaje de corriente continua que va de 7 a 12 voltios y el terminal negativo se conecta al pin GND.

El circuito integrado de conexión se muestra en la Figura 30.

Figura 30

Diagrama del circuito eléctrico

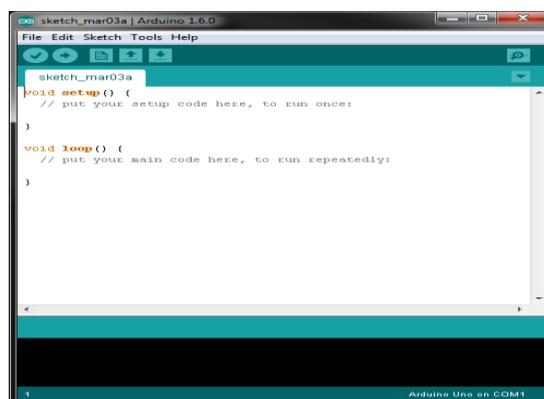


4.2.4. Diseño del software

El microcontrolador del Arduino Nano es el encargado de ejecutar los códigos de programación. La Figura 31 muestra el Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino (IDE), es aquí, donde se realiza la programación para luego ser subida al microcontrolador del Arduino a través del puerto mini USB. Antes de cargar un programa se seleccionó el modelo del Arduino y el puerto al que estará conectado.

Figura 31

Entorno de programación de Arduino (IDE)



El algoritmo de control se implementó en el lenguaje de programación Processing. Arduino, además soportar otros leguajes de programación alternativos como es el caso de C, C++, Wiring, etc.

En cuanto a su estructura, el algoritmo se inicia con la configuración del hardware mediante la definición de bibliotecas propias para los sensores utilizados, declaraciones de clases, variables globales, constantes y la habilitación de todos los protocolos de comunicación con sus respectivas velocidades.

estas variables se utilizan para guardar información en la memoria y acceder a ellas siempre que se necesiten, ejemplo:

```
int Pot=A0;
int Pot2=A3;
int ledflow=A2;
int nivelbajo=A1;
int levelpin= 3;
int flowpin=2;
double flowrate;
```

Otras de las funciones básicas del algoritmo es la función Setup (), esta se llama siempre que se inicia el sketch y solo se ejecuta una vez, después de cada reinicio o encendido del Arduino. Se usa para iniciar variables, pin modes, iniciar librerías, etc., ejemplo:

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  sensors1.begin();  
  sensors2.begin();  
  pinMode(levelpin, INPUT);  
  pinMode(ledflow, OUTPUT);  
  pinMode(nivelbajo, OUTPUT);  
}
```

Función loop (), es el punto de entrada al programa, es donde se carga los comandos que se ejecutarán mientras el Arduino este encendido. El microcontrolador irá desde el primer comando hasta el final y volverá inmediatamente al principio para repetir la secuencia consecutivamente, ejemplo:

```
void loop() {  
  count =0;  
  interrupts();  
  delay(2000);  
  noInterrupts();  
  flowrate=(0.0741598*count);  
}
```

Otra función básica es digitalWrite (), la cual nos permite, mediante parámetros, activar o desactivar la corriente en un pin concreto, ejemplo:

```
digitalWrite(nivelbajo, HIGH);  
digitalWrite(releResist, HIGH);
```

El sensor de temperatura DS18B20 de forma particular entrega la información por medio de un protocolo de comunicación serial implementado en un solo pin, este es el protocolo OneWire, Para el funcionamiento del sensor se implementó librerías como: OneWire.h y DallasTemperature.h.

La tecnología de Arduino sólo funciona con una lógica binaria, por lo que se utilizan pantallas LCD para visualizar los datos de los sensores. Estos displays se utilizan para verificar y corregir el sistema, y especialmente para controlar los sensores y procesar datos. La programación de estos displays se realiza con diferentes bibliotecas, como U8glib.h, que simplifican el procesamiento de la información proporcionada por el microcontrolador.

```
#include "U8glib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

El programa completo para el sistema de adquisición de datos se encuentra en el Anexo 6 (a).

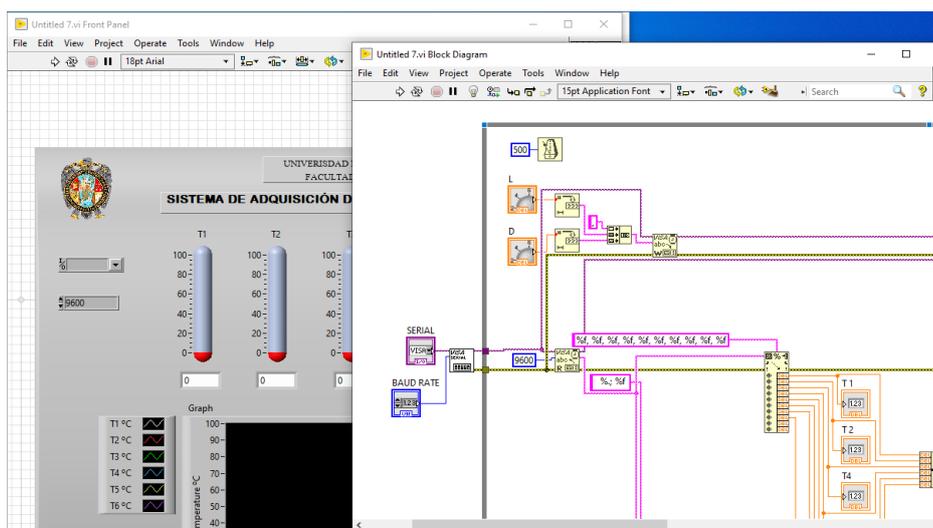
4.2.4.1. Desarrollo de software para ordenador

El programa de computadora se hizo utilizando LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), que es un sistema de ingeniería de software para aplicaciones que requieren pruebas, mediciones y control con un acceso rápido a hardware e información de datos según National Instruments (2022). LabVIEW se basa en programación gráfica y no en código de texto.

LabVIEW, mediante su programación grafica facilita la adquisición, control, análisis y presentación de datos. Al diseñar el programa en LabVIEW se generó Instrumentos Virtuales (VIs), cada VI está compuesto de dos partes: el front panel y el block diagram, como se observa en la Figura 32. en la primera se colocan botones, leds, indicadores, termómetros, tanques, etc., esta realiza la interfaz con el usuario. El segundo es el código fuente del VI, cada indicador o control puesto en la interfaz tiene un tipo de dato asociado con él.

Figura 32

Front panel y block diagram de LabVIEW



La Figura 33, muestra el diagrama esquemático de conexión del sensor, el Arduino nano, que funciona como una DAQ, y LabVIEW. El software de programación gráfica

con el que trabaja LabVIEW en el ordenador, permitió mostrar los datos a través de la interfaz gráfica (Front panel) y posteriormente almacenarlos o enviarlos a programas como Excel y realizar las comparaciones.

Figura 33

Diagrama esquemático de conexión



Para iniciar con la comunicación entre Arduino y LabVIEW, se seleccionó el tipo de puerto donde va conectado el Arduino y el tipo de comunicación serial, una vez desarrollado la interfaz gráfica del sistema en el Front panel, tal como se muestra en la Figura 34, se realizó la programación del funcionamiento de cada indicador en el block diagram, como se observa en la Figura 35.

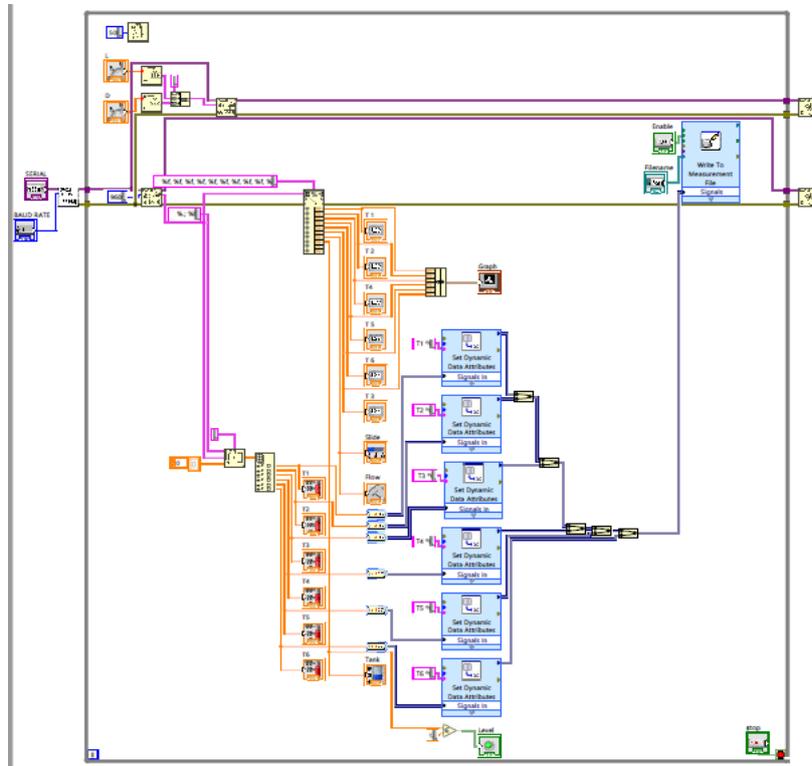
Figura 34

Interfaz gráfica de usuario en LabVIEW



Figura 35

Block diagram de LabVIEW



4.3. INSTRUMENTACIÓN

La parte final de sistema de adquisición de datos es la instrumentación. Esto se entiende como el montaje de los distintos componentes del sistema. Los sensores están ubicados estratégicamente en distintas partes del equipo de destilación permitiendo obtener datos online, se instalaron: sensores de temperatura, caudalímetro para medir el caudal del líquido refrigerante en este caso el agua de la red, y un sensor de nivel.

En el hervidor se instaló el sensor de nivel mínimo, con el fin de proteger las resistencias de inmersión,

En el tanque de alimentación se instaló un sensor de temperatura DS18B20 mediante un termo pozo. Para registrar la temperatura de la muestra al inicio, durante y al final del proceso de destilación.

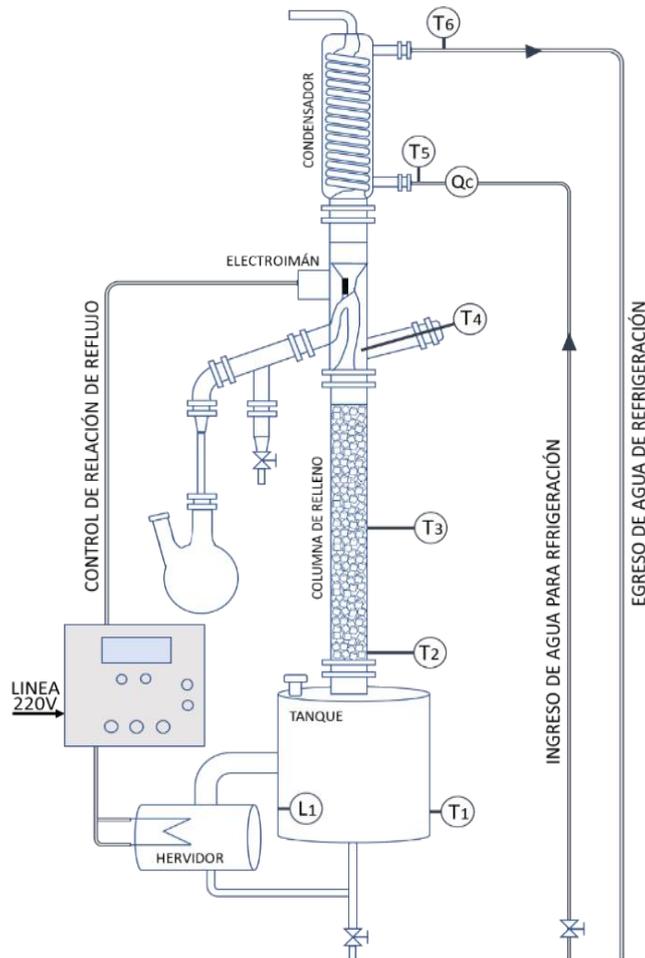
En la columna de rectificación se instaló dos sensores de temperatura DS18B20 al inicio y mitad de la columna, el objetivo es ir registrando el avance del cambio de temperatura durante todo el proceso.

En la parte superior de la columna se encuentra el mecanismo que permite regular la relación de reflujo. El reflujo se controla electromagnéticamente mediante un electroimán situado fuera de la columna, conectado al microcontrolador quien ordena el movimiento del embudo instalado dentro de la columna para cerrar o abrir dependiendo de las condiciones en la que se trabaje. en esta misma sección se instala un sensor de temperatura DS18B20 para monitorear la temperatura del vapor que asciende a través de la columna de rectificación.

Finalmente, en la parte superior del equipo se encuentra el condensador de doble tubo, tipo serpentín, con entrada y salida para el agua de refrigeración. Al ingreso del refrigerante se instaló un sensor de caudal YF-S201 y un sensor de temperatura DS18B20, y finalmente en la parte superior del condensador se instaló un sensor de temperatura DS18B20 para registrar la temperatura de salida del refrigerante. La Figura 36 muestra la instrumentación del equipo de destilación.

Figura 36

Sensores instalados en el equipo de destilación batch



CAPÍTULO V

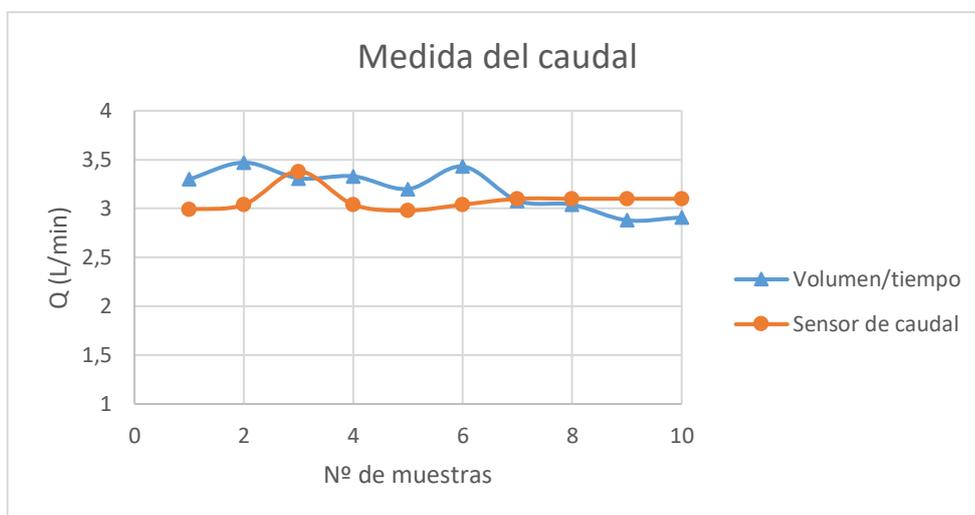
RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Al graficar los datos obtenidos de la evaluación del sensor de caudal YF-S201 del Anexo 3(a). La Figura 37 muestra la similitud entre ambas formas de medición, volumen/tiempo y caudalímetro, analizando ambos valores se considera que el sensor de caudal YF-S201 puede ser leída con mayor facilidad por el estudiante, en comparación con el sistema de medición anterior. Los valores son continuos, con cierta desviación en el punto tres, esto se debe principalmente a que el sistema de abastecimiento de agua potable esta interconectado en toda la ciudad universitaria lo que ocasiona que se tenga por momentos niveles altos y bajos de flujo los cuales son detectados por el sensor.

Figura 37

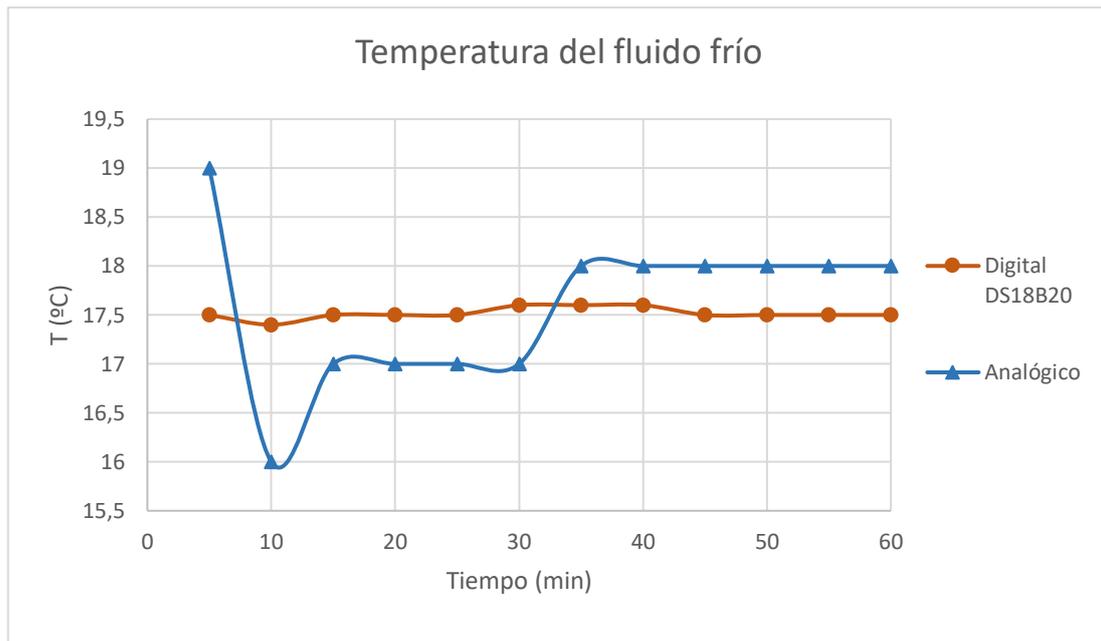
Resultado de las medidas de caudal



Analizando la gráfica de la Figura 38, obtenido de la evaluación del sensor de temperatura DS18B20 del Anexo 3(a), se puede ver que la temperatura de entrada del fluido de refrigeración (T_5), presenta pequeñas desviaciones de $\pm 0,1$ °C desde el inicio de la operación; mientras que, el sensor analógico requiere de cierto tiempo para alcanzar la estabilidad.

Figura 38

Resultado de la medida de temperatura del refrigerante



En el caso del sensor de temperatura instalado en el tanque (T_1), se observa que la gráfica de temperatura de ambos sensores es similar, como se observa en la Figura 39. Sin embargo, al realizar un análisis detallado de los valores de temperatura, se concluye que el sensor analógico viene operando por encima de los 100 °C. Sin embargo, el sensor de temperatura DS18B20 registró el valor más alto de 92 °C, que fue el momento donde se detuvo la operación de destilación.

El análisis de la temperatura de vapor (T_4), es similar a la temperatura del tanque de alimentación (T_1). Por el contrario, T_2 , T_3 y T_6 mantienen valores similares entre ambos sensores. Como se observa en la Figura 40.

Figura 39

Resultado de la medida de temperatura en el tanque

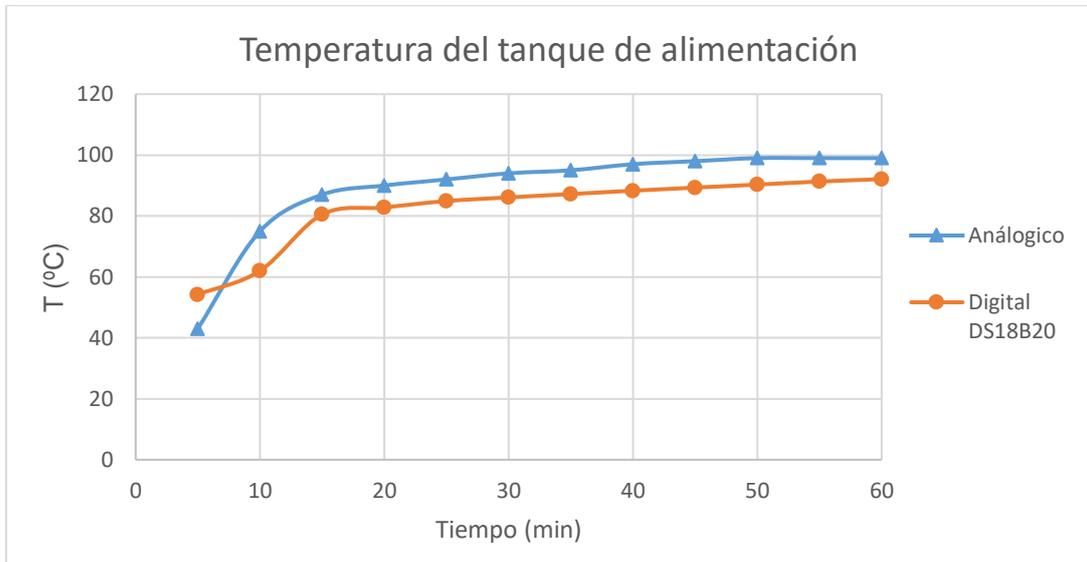
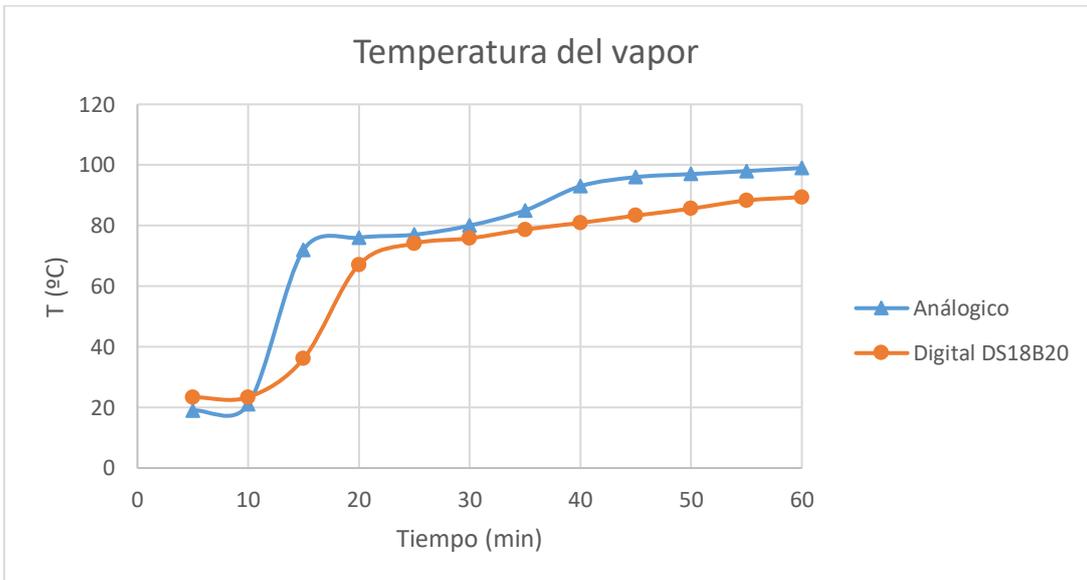


Figura 40

Resultado de la medida de la temperatura de vapor



Para la evaluación se elaboró un cuadro de comparación entre las muestras obtenidas a través los sensores instalados y los obtenidos con otros instrumentos de medición.

El sensor de nivel responde a las expectativas planteadas, cuando el nivel de muestra es inferior al nivel mínimo de trabajo el sensor se acciona y detiene la operación de destilación, al solucionar este desajuste se continúa con la operación.

5.1.1. Sistema etanol - agua

Instalado el sistema de adquisición de datos, se realizó la generación y el registro de datos de las variables operativas del proceso.

5.1.1.1. Descripción del sistema de destilación

La muestra se cargó al tanque hervidor, Se encendió el sistema de calentamiento eléctrico y el líquido dentro del tanque empezó a hervir y los vapores ascendieron por la columna, parte del líquido que salió del condensador se regresó a la columna y el resto se extrajo como producto.

La Tabla 11 muestra los datos obtenidos en la práctica, al inicio y al final de la operación de destilación para la mezcla etanol (A) – agua (B).

Tabla 11

Datos del inicio y final de la destilación

Mezcla etanol (A) – agua (B)		
Alimentación	Masa	19,16 kg
	Grado alcohólico	17° GL
	Temperatura	21,2 °C
Destilado	Masa	3,7 kg
	Grado alcohólico	77° GL
	Temperatura	31,5 °C
Residuo	Masa	14,66 kg
	Grado alcohólico	3,8° GL
	Temperatura	87,1 °C

Los cálculos para determinar las fracciones molares de etanol y el peso molar en la alimentación, destilado y residuo de la mezcla etanol (A) – agua (B) se detallan en el Anexo 3(b). La Tabla 12 muestra el resumen de los resultados obtenidos luego de realizar los cálculos.

Tabla 12

Pesos y fracciones molares

Pesos y fracciones molares al inicio y final de la operación		
Alimentación	F (kmol)	0,9760
	x_F	0,0576
Destilado	D (kmol)	0,1213
	x_D	0,4450
Residuo	W (kmol)	0,8044
	x_W	0,0075

Otro de los métodos para determinar la cantidad de destilado y residuo es hacer uso de las ecuaciones de balance de materia, para esto, primero se determinó el número de etapas ideales, y luego se resolvió la ecuación de Rayleigh, ecuación (2.22) con el método de integración numérica.

Considerando que el vapor que asciende y el líquido que desciende a través de la columna de rectificación del destilador batch se mantienen constante entonces se cumple la ecuación para la línea de operación con el método de McCabe-Thiele, ecuación (2.16).

Para hallar la línea de operación, primeramente, ubicamos el punto $x_D = y$ sobre la diagonal de la gráfica composición, el valor de $\phi = x_D/(R+1)$ sobre el eje y , luego se realizó el registro del número total de etapas de contacto ideal equivalente.

De los datos experimentales recogido cada 500 mL, se obtuvo la Tabla 13, en base al componente más volátil, etanol, y con una relación de reflujo ($R=L/D$) de 1,6.

Tabla 13

Muestra tomada para determinar el número de etapas ideales

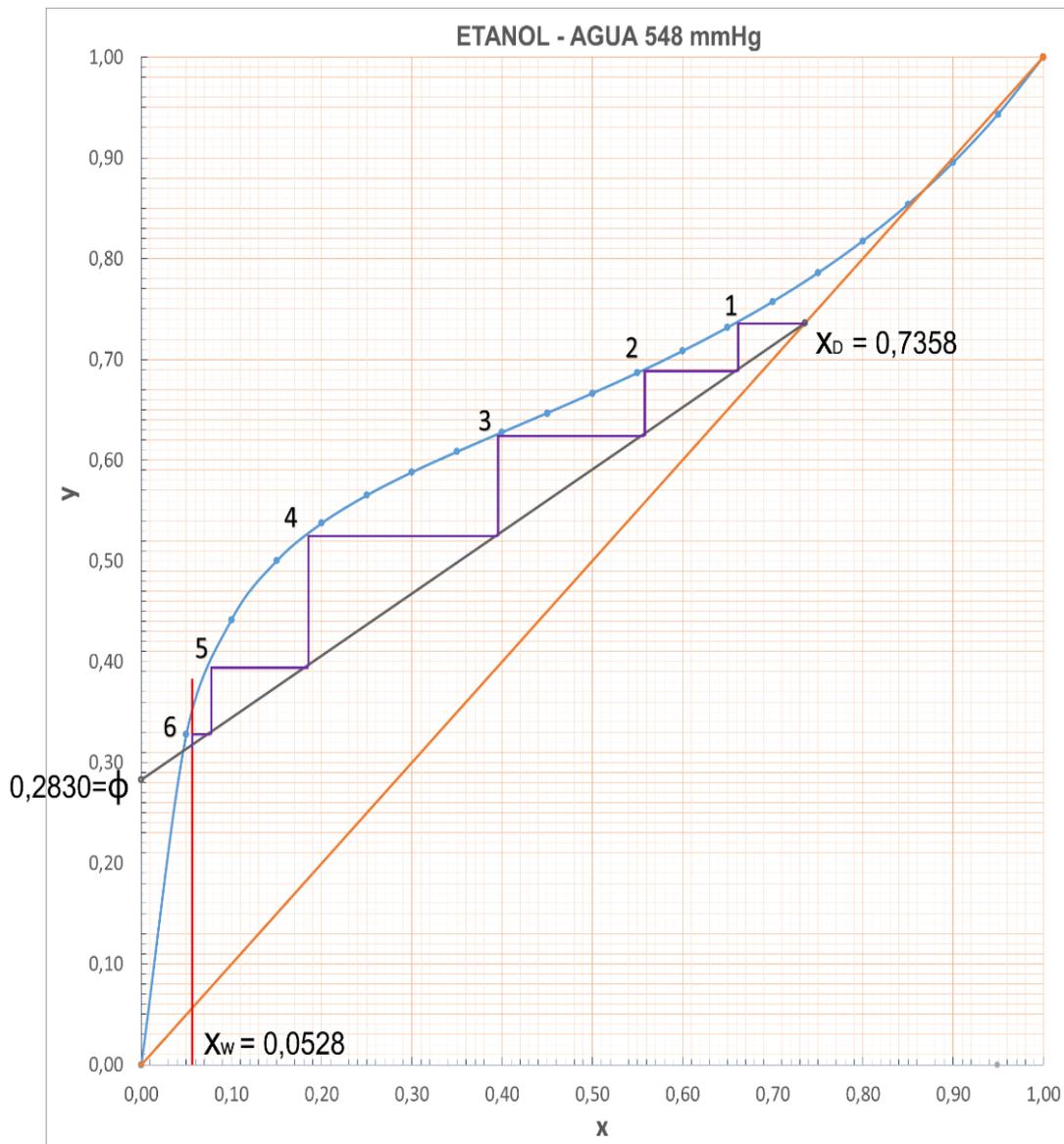
Muestra instantánea de 500 mL		
Líquido de fondo		
Peso en lastre	X (g)	5,1221
Densidad del líquido	ρ_{xw} (g/mL)	0,9802
Porcentaje en peso	% peso	12,4706
Peso de líquido	w_{xw} (g)	0,1247
Fracción molar	x_w	0,0528
Líquido destilado		
Peso en lastre	$y = x_D$ (g)	5,2762
Densidad del líquido	ρ_{xD} (g/mL)	0,8255
Porcentaje en peso	% peso	87,6885
Peso de líquido	w_{xD} (g)	0,8769
Fracción molar	$y = x_D$	0,7358
Intercepto con el eje y, $\phi = \frac{x_D}{R+1}$	ϕ	0,283

Con los valores de $x_D = y = 0,7358$, $\phi = x_D/(R+1)=0,283$ y $x_w = 0,0528$ se trazó sobre el diagrama de composición de la Figura A3 del Anexo 3, la línea de balance de materia y en base a rectas horizontales y verticales se determinó el número total de etapas ideales equivalentes, en este caso dio como resultado seis etapas ideales,

cinco para la columna de destilación y uno para el hervidor, como se muestra en la Figura 41.

Figura 41

Número de etapas ideales



Para calcular el destilado y residuo total se resolvió la ecuación (2.17) mediante el método de integración numérica bajo la técnica trapezoidal (Arias, 2011),

Para iniciar con este método se plante alguna condición de finalización, por ejemplo, tener valores de: x_w , x_D , % de recuperación, etc. Para este caso se eligió el valor de $x_D = 0,4450$, que fue el valor obtenido en la práctica.

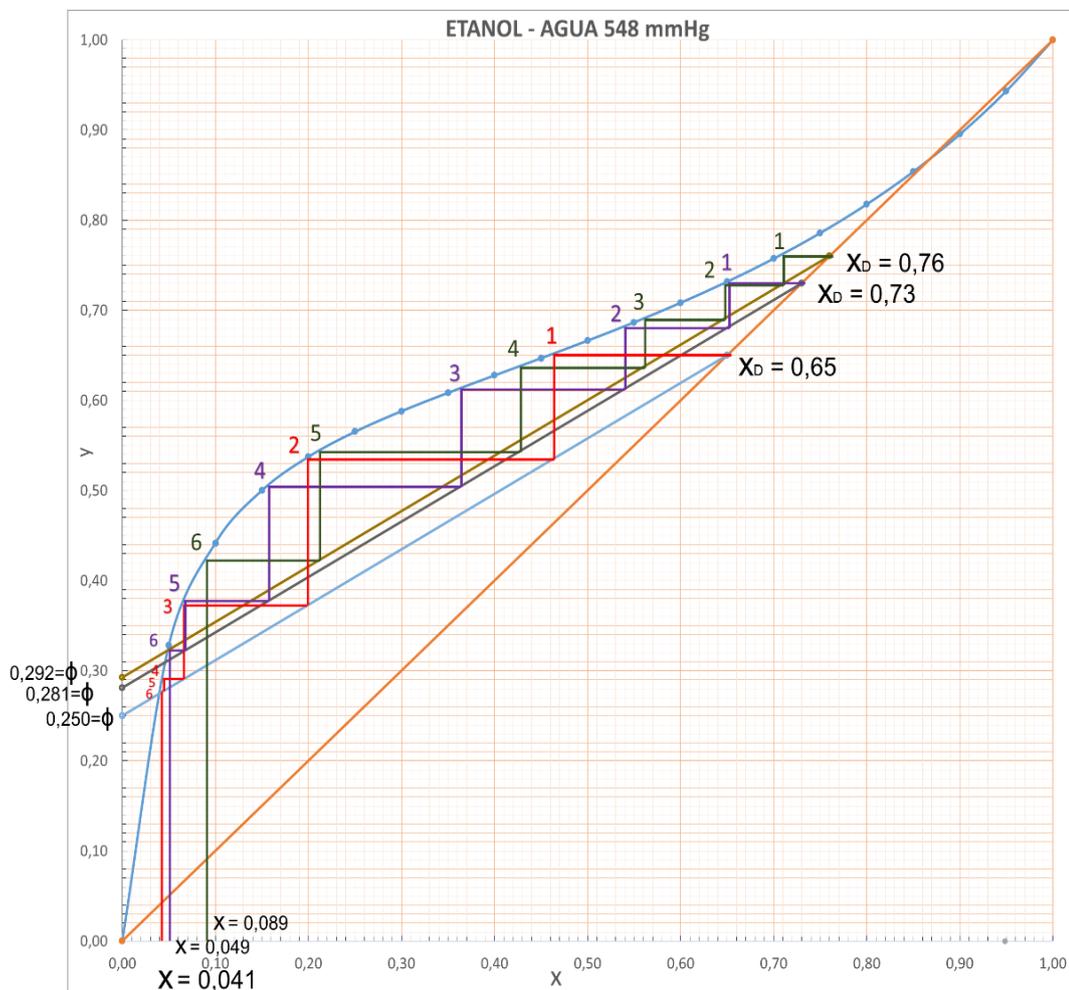
Se asumió algún valor de inicio de $x_D = y$, para obtener el valor de x (x de alimentación y x de fondo), se traza la diagonal sobre los puntos x_D , y $\phi = y/1+R$, y sobre este se trazó el número de platos ideales hallado anteriormente (seis), juego se estableció el valor de x para determinado valor de $x_D=y$.

Por ejemplo:

Para $x_D = y = 0,760$, se obtiene el valor de $\phi = 0,292$, sobre la gráfica composición se ubicó estos puntos y se trazó los seis platos ideales calculados anteriormente de esta manera se obtuvo el valor de $x = 0,081$. Figura 42.

Figura 42

Líneas de balance de materia instantáneos



Los distintos valores obtenidos de la gráfica se muestran en la Tabla 14, donde adicionalmente se halla el valor de $f=1/(y-x)$.

Tabla 14

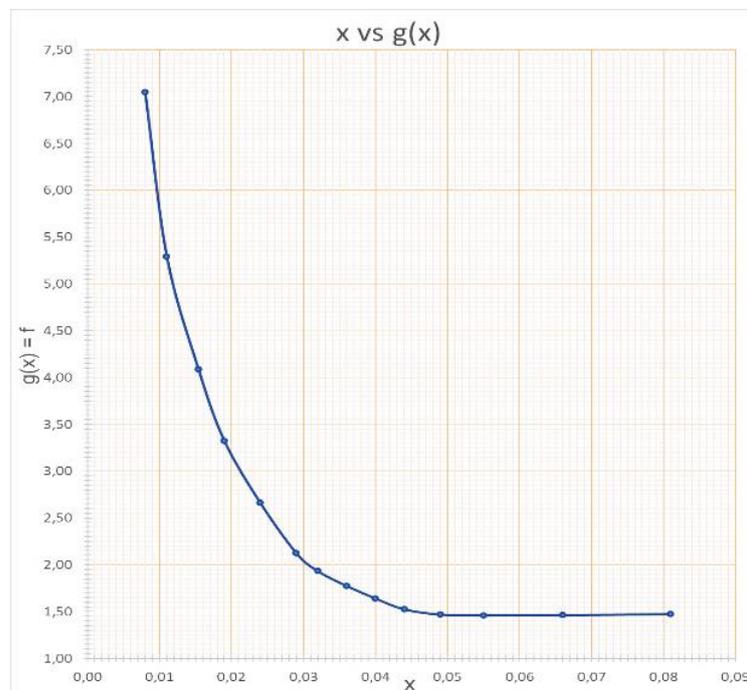
Tabla auxiliar

$y=xD$	ϕ	x	$g(x)=f=1/(y-x)$
0,760	0,292	0,081	1,473
0,750	0,288	0,066	1,462
0,740	0,285	0,055	1,460
0,730	0,281	0,049	1,468
0,700	0,269	0,044	1,524
0,650	0,250	0,040	1,639
0,600	0,231	0,036	1,773
0,550	0,212	0,032	1,931
0,500	0,192	0,029	2,123
0,400	0,154	0,024	2,660
0,320	0,123	0,019	3,322
0,260	0,100	0,015	4,088
0,200	0,077	0,011	5,291
0,150	0,058	0,008	7,042

Se graficó la función de integración, x vs f , como se muestra en la Figura 43.

Figura 43

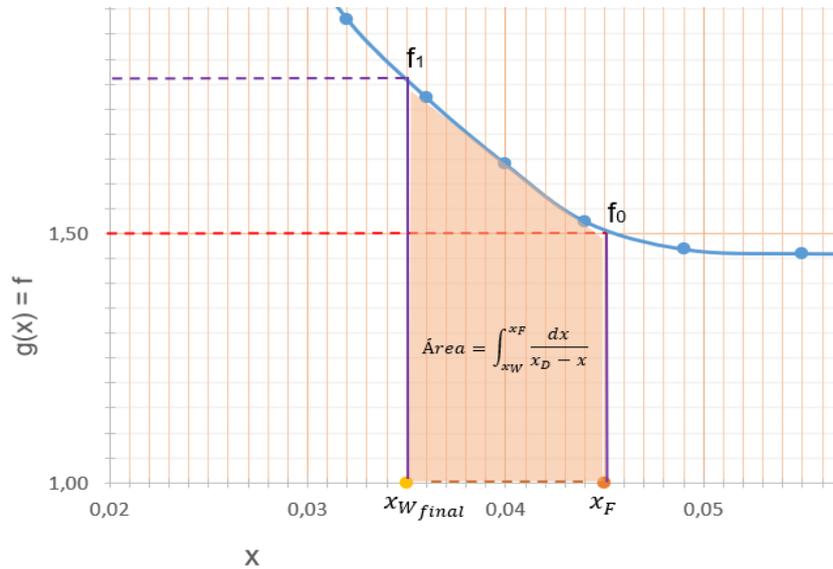
Función de integración, x vs f



Luego se halló el área unitaria de cada trapecio formado bajo la curva, como se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Área unitaria del trapecio



Por ejemplo, para valores iniciales de $x = 0,0576$ y $x = 0,0550$, de la gráfica función de integración, se obtiene los valores de $f = 1,4540$ y $f = 1,4550$, respectivamente. El paso de integración (Δx) es la diferencia de estos primeros valores, $\Delta x = 0,0576 - 0,0550 = 0,0026$. La altura media de integración es $f_m = (f_0 + f_1) / 2 = (1,4540 + 1,4550) / 2 = 1,4545$; por lo tanto, el área de cada trapecio unitario será: $a = f_m \cdot \Delta x = 1,4545 \cdot 0,0026 = 0,0038$. El procedimiento se continuó a lo largo de toda la curva.

De la ecuación de Rayleigh, se calculó el valor de W

$$\ln \frac{F}{W} = \text{área} \Rightarrow W = e^{(\ln F - \text{área})} = 0,9723 \text{ kmol}$$

Del balance global de materia, ecuación (2.10) y (2.11), se calculó D_T y x_D

$$D_T = F - W = 0,0037 \text{ kmol}$$

$$x_D = \frac{F x_F - W x_W}{D_T} = 0,7438$$

Como el objetivo fue encontrar el valor de $x_D = 0,4450$, que fue el valor obtenido en la práctica y contrastar los valores obtenidos con la integración, por lo tanto, se sigue

realizando el procedimiento hasta encontrar el límite final, los resultados se resumen en el en la Tabla 15. Donde se añadió adicionalmente el % de recuperación.

Tabla 15

Resumen de los cálculos para hallar el valor de x_D

X	f	ΔX	fm	a	$\Sigma a=II$	W	Dt	\ddot{X}_D	%rec
0,0576	1,4540
0,0550	1,4550	0,0026	1,4545	0,0038	0,00378	0,97232	0,0037	0,7438	4,8743
0,0500	1,4600	0,0050	1,4575	0,0073	0,01107	0,96526	0,0107	0,7404	14,1500
0,0450	1,5000	0,0050	1,4800	0,0074	0,01847	0,95814	0,0179	0,7335	23,3047
0,0350	1,8100	0,0100	1,6550	0,0166	0,03502	0,94241	0,0336	0,6917	41,3272
0,0300	2,0350	0,0050	1,9225	0,0096	0,04463	0,93340	0,0426	0,6623	50,1901
0,0250	2,5250	0,0050	2,2800	0,0114	0,05603	0,92282	0,0532	0,6233	58,9623
0,0200	3,1490	0,0050	2,8370	0,0142	0,07022	0,90982	0,0662	0,5745	67,6322
0,0150	4,1600	0,0050	3,6545	0,0183	0,08849	0,89335	0,0827	0,5180	76,1637
0,0100	5,7200	0,0050	4,9400	0,0247	0,11319	0,87155	0,1044	0,4548	84,4968
0,0080	6,9800	0,0020	6,3500	0,0127	0,12589	0,86055	0,1154	0,4273	87,7540

Luego de interpolar se puede encontrar el valor deseado, se realizó la comparación entre los valores obtenidos en la práctica y el valor calculado en función a la integración, y se obtuvo la Tabla 16.

Tabla 16

Valores obtenidos en la práctica y los calculados con integración

	Práctica	Con valores de F, x_F , R, N° platos ideales
F (kmol)	0,9760	0,9760
D_T (kmol)	0,1213	0,1083
W (kmol)	0,8044	0,8676
x_F (fracción molar)	0,0576	0,0576
x_D (fracción molar)	0,4450	0,4450
x_W (fracción molar)	0,0075	0,0093
% recuperación	96,12%	85,66%

Analizando la Tabla 16, entre los valores obtenidos en la práctica y los calculados con la integración de la ecuación de Rayleigh. Se observa que estos valores son próximos, por ejemplo, el D_i (kmol) en la práctica fue 0,1213 y con el cálculo de la integración fue 0,1083, valores casi cercanos, la diferencia se podría deber a varios factores, entre ellos la pérdida de material durante la operación, ya sea tomando las muestras instantáneas o las muestras a cada 500 mL, otro de los posibles factores se debería a la falta de calibración y mantenimiento de los equipos utilizados en el análisis de la muestra etanol-agua.

5.1.1.2. Diámetro de la columna

El diámetro de la columna se basa en el concepto conocido como inundación, si la velocidad del vapor es demasiado grande, la fuerza de arrastre sobre el líquido excede la gravedad y el líquido cae a través de la columna. Para determinar el diámetro de la columna se calculó la velocidad de inundación.

Este cálculo se realizó en base a correlaciones empíricas, en este caso se usa la correlación atribuida a Fair y Matthews, ver Figura A1 del Anexo 2. Donde el parámetro F_{IV} se calcula de la ecuación (2.6).

Conociendo la relación de reflujo ($R=L/D=1,6$) el valor de L y V son:

$$L = 1,6 \cdot 0,11778 = 0,1884 \text{ kmol} / h$$

$$V = L + D = 0,30618 \text{ kmol} / h$$

Hallamos el valor de la densidad, y finalmente reemplazamos en la ecuación (2.6) para calcular F_{IV}

$$\rho_V = \frac{PM}{RT} = \frac{0,7306 \cdot 46,069}{0,08314 (273,15 + 81)} = 1,1431 \text{ kg} / m^3$$

$$F_{IV} = \frac{0,1884 \cdot 18,015}{0,30618 \cdot 46,0690} \left(\frac{1,1431}{971,171} \right)^{0,5} = 8,2551 \cdot 10^{-3}$$

Usando la correlación de la ecuación (2.5), se calculó el caudal másico superficial de vapor.

$$\log \left[\frac{G_f'^2 F \psi \mu^{0,2}}{\rho_L \rho_V g_c} \right] = -1,6678 - 1,085 \log F_{IV} - 0,29655 [\log F_{IV}]^2$$

$$\frac{G_f'^2 F \psi \mu^{0,2}}{\rho_L \rho_V g_c} = 0,2021$$

$$G_f' = \left[\frac{0,2021 \cdot 60,6282 \cdot 0,07136 \cdot 32,2}{1000 \frac{1000}{971,171} (0,4536)^{0,2}} \right]^{0,5} = 0,17896$$

Considerando un porcentaje de inundación = 75% se obtuvo 0,13422, por tanto, el área y el diámetro de la columna en base a la ecuación (2.7) y (2.8) fueron:

$$A = \left[\frac{0,30618 \cdot 46,069 \cdot 2,2}{0,13422 \cdot 3600} \right] = 0,06422 \text{ ft}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06422}{\rho}} = 0,28595 \text{ ft} = 0,08716 \text{ m}$$

Realizando la comparación con la Tabla 5, características del destilador batch con rectificación, el diámetro de la columna a un 75% de inundación fue el esperado.

Adicionalmente, se construyó la Tabla 17, para mostrar como varía el diámetro de la columna para distintas relaciones de reflujo $R=(L/D)$, para todos los cálculos se consideró un 75% de inundación.

Tabla 17

Variación del diámetro de la columna en relación al reflujo

R=L/D	L (kmol/h)	V (kmol/h)	F _{LV}	G _f (lb/ft ² sec)	75%	A (ft ²)	D (ft)	D (m)
0,5	0,0588	0,1765	0,0045	0,1668	0,1251	0,0689	0,2961	0,0903
1,0	0,1177	0,2354	0,0067	0,1757	0,1318	0,0654	0,2885	0,0879
1,6	0,1883	0,3060	0,0083	0,1790	0,1342	0,0642	0,2859	0,0871
2,0	0,2354	0,3531	0,0089	0,1800	0,1350	0,0638	0,2851	0,0869
2,5	0,2942	0,4119	0,0096	0,1807	0,1355	0,0636	0,2845	0,0867
3,0	0,3531	0,4707	0,0101	0,1812	0,1359	0,0634	0,2841	0,0866
3,5	0,4119	0,5296	0,0104	0,1815	0,1361	0,0633	0,2839	0,0865

Caída de presión

$$\Delta P = \alpha \left(10^{\beta L} \right) \left(\frac{G^2}{\rho_V} \right) = 4,70 \left(10^{\frac{0,41(0,0588)(18,0150)(2,2)}{0,06422(3600)}} \right) \left(\frac{0,13422^2}{0,07136} \right)$$

$$\Delta P = 1,1979 \text{ inH}_2\text{O} / \text{ft} = 0,002942 \text{ atm} / \text{ft}$$

La caída de presión es pequeña, por lo tanto, no afecta el factor de empaquetamiento.

5.1.1.3. Balance de energía

Para el balance de energía se emplea la gráfica de temperatura composición para la mezcla etanol – agua, sobre la cual se ubicó los puntos: $x_D = 0,4450$ $x_w = 0,0084$ y se halló las distintas temperaturas del proceso, tal como se muestra en la Figura 45. Los valores hallados de la gráfica se resumen en la Tabla 18.

Tabla 18*Temperaturas en el destilador batch con rectificación*

Valores calculados del diagrama temperatura		
Temperatura de alimentación	T_F	21,20 °C
Temperatura del líquido	T_L	71,88 °C
Temperatura de fondo	T_W	89,50 °C
Temperatura del vapor	T_V	77,95 °C
Temperatura del destilado	T_{Df}	31,50 °C

Para calcular la energía total retirada en el condensador y suministrada en el hervidor se realizó el cálculo de las entalpías, considerando la Tablas A5 del Anexo 1, para la mezcla binaria etanol – agua (A-B), a través de las siguientes ecuaciones:

$$H_F = x_F C_{p_A} M_A + (1 - x_F) C_{p_B} M_B (T_F - T_0) + \Delta H_{sol}$$

$$H_W = x_W C_{p_A} M_A + (1 - x_W) C_{p_B} M_B (T_W - T_0) + \Delta H_{sol}$$

$$H_L = x_D C_{p_A} M_A + (1 - x_D) C_{p_B} M_B (T_L - T_0) + \Delta H_{sol}$$

$$H_V = x_D M_A C_{p_A} (T_V - T_0) + \lambda_A + (1 - x_D) M_B C_{p_B} (T_V - T_0) + \lambda_B$$

Finalmente, la energía total retirada en el condensador (Q_C) fue:

$$Q_C = D_T (1 + R) (H_V - H_L)$$

$$Q_C = 0,445(1 + 1,6)(46124,944 - 5320,954) \text{ kJ}$$

$$Q_C = 12495,324 \text{ kJ}$$

Y la energía total suministrada en el hervidor (Q_R) fue:

$$Q_R = Q_C + D_T H_L + W H_W - F H_F$$

$$Q_R = 12495,324 + 0,445(5320,954) + 0,8582(3833,185) \text{ kJ}$$

$$Q_R = 16411,666 \text{ kJ}$$

Cálculo práctico

Energía retirada del condensador

$$Q_i = \dot{m}_i C_p \Delta T_i$$

$$Q_C = 0,05139(4187,67)20,89 \text{ J / s}$$

$$Q_C = 4495,29 \text{ J / s}$$

Con unos 47 min de trabajo se obtiene $Q_C = 12676,72 \text{ kJ}$, donde el calor perdido en el condensador es de: 181,4 kJ.

Energía suministrada al hervidor

Considerando que las resistencias aportan 4000 W de potencia y para un tiempo de trabajo de 70 min se tiene:

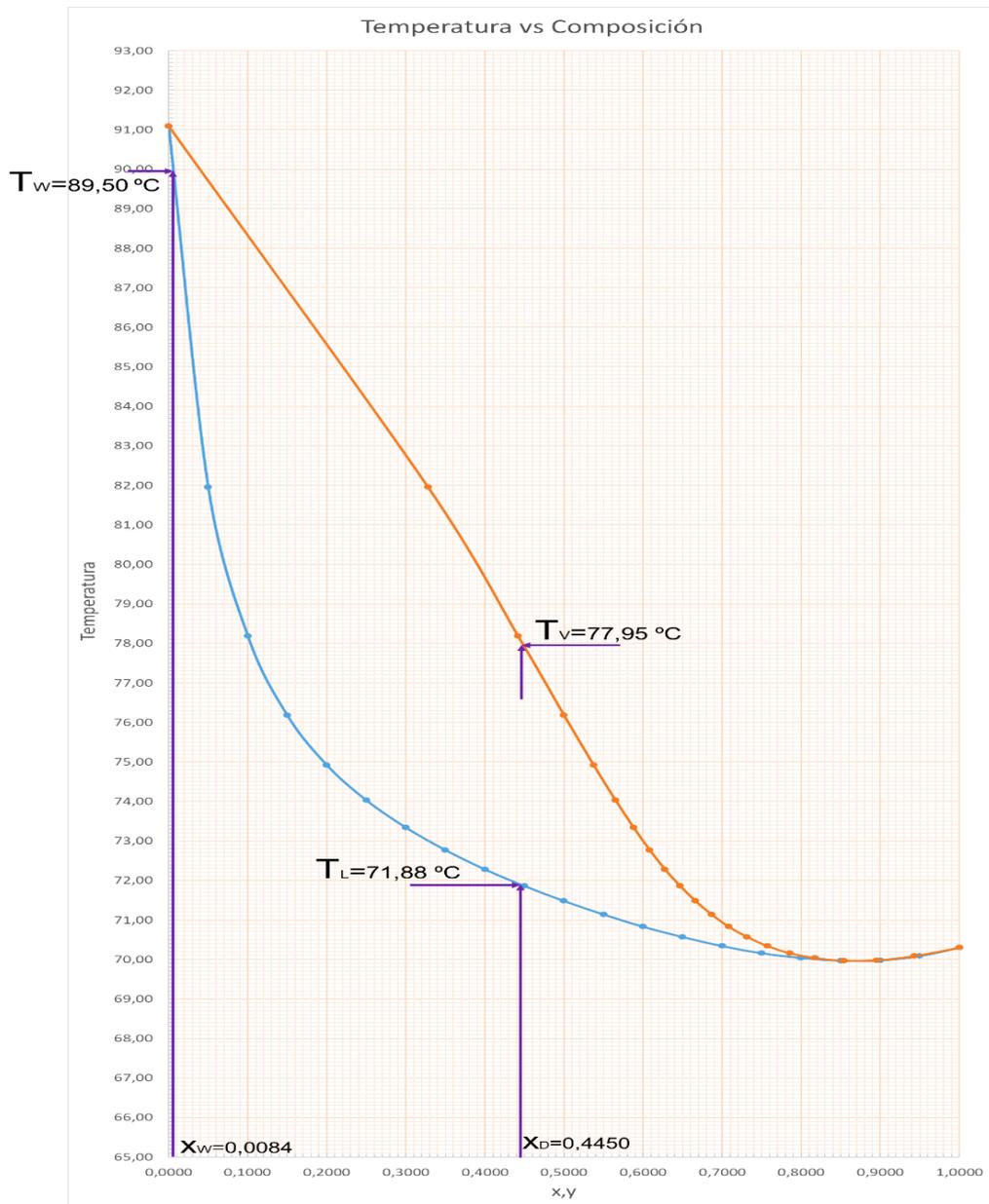
$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = Pt$$

$$W = 4000(4200) = 16800 \text{ kJ}$$

Por lo tanto, el calor perdido en el hervidor es de 388,33 kJ.

Figura 45

Diagrama temperatura composición



Para corroborar el dimensionamiento del destilador batch con rectificación, y proponer las condiciones de operación óptimas, en base a los valores calculados en la práctica, se realizó el cálculo del diámetro de la columna, debido a que este es uno de los primeros parámetros de diseño que se debe tener en consideración. El porcentaje de inundación en una columna de relleno según la bibliografía se considera entre 70 a 80%, en este caso se consideró un 75% de inundación, el factor de empacamiento fue determinado considerando el tipo de material (anillos Rasching de vidrio QVF) y el diámetro del relleno (0,9 cm) debido a que no se contaba con una correlación específica para este tipo de relleno se trabajó con el factor de empacamiento de anillos Rasching cerámicos de 0,375", la relación de reflujo fue la que se empleó en la práctica ($R=1,6$), con estos datos se obtuvo un diámetro de columna de 0,087 m el cual es un valor aproximado al real 0,088 m. Una de las características particulares de una columna de relleno es que existe una baja caída de presión, esto se logró demostrar obteniéndose un valor de 0,00965 atm/m de altura de empaque, el cual es un valor muy pequeño, las características de operación se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19

Características de operación

Características de operación del destilador batch con rectificación		
Relación de reflujo	$R = L/D$	1,6
Número de platos ideales	Nº platos ideales	6
Caudal interno de líquido	L (kmol/h)	0,1883
Caudal interno de vapor	V (kmol/h)	0,3060
Diámetro de la columna de relleno	D (m)	0,0872
Altura de la columna de relleno	Altura (m)	0,60
Caída de presión	ΔP (atm/ft altura de empaque)	0,002942
Energía neta en el hervidor	Q_R (KJ)	16411,279
Energía neta en el condensador	Q_C (kJ)	12495,014

5.2. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos afirmar que la implementación de un sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación, con la interfaz Arduino Nano es posible, coincidiendo con Martínez (2019) que mencionaba que: "La aplicación de este sistema de adquisición de datos se da para cualquier tipo

de fenómenos físicos y químicos”. Además, la instrumentación en el destilador batch con rectificación facilita la lectura y el registro de parámetros involucrados en el proceso.

El Arduino Nano, funciona perfectamente como una tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ), el microcontrolador del Arduino Nano es capaz de recoger gran cantidad de señales procedentes del mundo real y convertirlas en señales digitales y viceversa. Para la investigación se trabajó con seis (6) señales de temperatura, una (1) señal de caudal, una (1) señal de nivel mínimo y la relación de reflujo para un tiempo mínimo de muestreo de aproximadamente 10 ms.

LabVIEW es un software de programación gráfica donde el usuario visualiza los valores obtenidos por los sensores a través de indicadores gráficos además logra ingresar valores que podrán ser ejecutados por un actuador: La programación gráfica en LabVIEW consta de un front panel y un block diagram, donde se diseña la interfaz de usuario y las funciones, respectivamente. Además de ser una herramienta útil para sistemas de adquisición de datos facilita exportar y almacenar los datos obtenidos a través de programas como Excel.

El sistema de adquisición de datos inicia cuando se ejecuta el software de Arduino, este, además de energizar los dispositivos electrónicos del SAD. Nos permite monitorear y procesar los valores de manera rápida, generando confianza en la operación. En la evaluación del sistema etanol-agua, se contrastó los valores obtenidos en la práctica y los hallados a través de gráficas y correlaciones, tal como lo muestra la Tabla 16 y 19, donde para una relación de reflujo de 1,6 y considerando 75% de inundación se obtiene un diámetro de columna igual a 0,087m, además, se debe considerar que un aumento o disminución de la relación de reflujo ocasiona que cambie el diámetro de la columna.

CONCLUSIONES

1. La implementación del sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación es capaz de registrar y almacenar información a través de un ordenador. El sistema emplea el microcontrolador del Arduino Nano como la unidad de control de los sensores y actuadores del sistema.
2. La instalación de sistema de adquisición de datos, comprende el diseño, la flexibilidad del sistema, representa toda la conformación del hardware, además de la interacción de todos los componentes con la unidad central de procesamiento, es decir, el microcontrolador de Arduino.
3. A través del sistema de adquisición de datos implementado en el destilador batch con rectificación, se logró generar el registro en tiempo real de las variables operativas como: temperatura, caudal del refrigerante, nivel y relación de reflujo, a través de la pantalla LCD y por medio de un ordenador conectado al Microcontrolador mediante el puerto USB para luego obtener y procesar los datos a través del software LabVIEW y Excel.
4. La evaluación del sistema etanol agua en el destilador batch con rectificación, presentó los siguientes resultados, para una muestra inicial de 20 L en peso y una concentración de 17° GL. trabajando con una relación de reflujo de 1,6, el número de platos ideales obtenido es seis, el caudal interno molar de líquido y vapor es 0,1883 kmol/h y 0,3060 kmol/h respectivamente, el diámetro de columna es 0,087m, con una caída de presión de 0,00965 atm/m de altura de empaque, y la energía neta en el hervidor y condensador para estas condiciones es de 16411,666 kJ y 12495,324 kJ respectivamente.

RECOMENDACIONES

Para el sistema de adquisición de datos, basado en otros modelos de Arduino se recomienda poder realizar el análisis correcto del sistema a evaluar, es decir que el correcto funcionamiento del sistema de adquisición de datos dependerá de lo que se desee medir y de la precisión con la que se quiera obtener los datos.

La instrumentación es el primer paso para realizar un sistema de adquisición de datos, con base a esto es recomendable usar sensores adecuados y realizar la ubicación correcta en el equipo, en referencia al sensor de nivel mínimo instalado en el equipo de destilación batch con rectificación, se recomienda que este sensor se encuentre en el tanque de alimentación, debido a que en su posición actual sufre de interrupciones causadas por el hervidor.

Para realizar la evaluación del sistema etanol agua es preciso contar con instrumentos calibrados y operativos: alcoholímetros, balanzas, picnómetros, etc., una de las dificultades en la evaluación fue medir la densidad de las muestras instantáneas a través del peso de lastre, debido a que este equipo otorgaba valores errados, ocasionando no tener certeza de las medidas realizadas, en este sentido es recomendable realizar el mantenimiento adecuado de los equipos e instrumentos usados en evaluación, además de la correcta capacitación a los estudiantes para el manejo de los mismos, y evitar que se frustren o desalienten al realizar las prácticas e informes.

Es necesario hacer uso de las guías de práctica, para evitar cualquier accidente durante la operación del equipo, y sobre todo para lograr el funcionamiento adecuado de los componentes eléctricos instalados en el sistema de adquisición de datos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arias, A. (2011). Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa. Lima, Perú: PRAKTICO L&C S.R.L
- Basmadjian, D. (2018). The little adsorption book: A practical guide for engineers and scientists. CRC press.
- Cajas, R., Campoverde, F., y Tello, E. (2012). Diseño e implementación de una tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad y su aplicación en el diseño de laboratorios académicos basados en software y hardware libre. Facultad de Ingenierías.
- Carmona, M., y Ortiz, S. (2011). Acondicionamiento de señales analógicas utilizando módulos portables SCC para el laboratorio de mecatrónica. Ecuador: ESPC.
- Cussler, E. (2013). Diffusion mass transfer in fluid systems. Cambridge university press.
- De la Horra, M. (2013). Sistema de adquisición de datos basados en la plataforma arduino. aplicaicones a Matlab, Similink y Android. Leganés, Universidad Carlos III de Madrid.
- Diwekar, U. (2012). Batch distillation simulation, optimal design, and control. New York: CRC Press
- Diwekar, U. (2014). Batch Processing, Modeling and Design. CRC Press
- Gutiérrez M. y Iturralde S., (2017). Manual de instrumentación, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.
- Güemez, C., Oseguera, J., Morales, M., y Marquez, C. (2013). Simulación de la separación de una mezcla azeotrópica de etanol-agua, comparando métodos convencionales y no convencionales. Universidad de Veracruz.
- Harker, J., Backhurst, J., y Richardson, J. (2013). Chemical Engineering Volume 2. Elsevier.
- Ibarz, A., y Barbosa, G. (2014). Introduction to food process engineering. CRC Press.
- McCabe, w. L., Smith, J. C., y Harriott, P. (2016). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. México. McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A.
- Mendoza, J. (2019). Implementación de un sistema de adquisición de datos con la interfaz de Arduino Mega para el estudio de fenómenos físicos. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Schwartz, M., & Manickum. (2015). Programming Arduino with LabVIEW. Packt Publishing Ltd, Mumbai.

- Rafiquzzaman, M. (2018). *Microcontrollers: Theory and Applications with the PIC18F*. John Wiley & Sons.
- Ramírez, A., y Hernández, R. (2017). Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma Arduino. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*
- Rivera, N. y Hansen, M. (2017). Rediseño de la columna de extracción líquido líquido y ensayo didáctico. Universidad Estatal de Guayaquil.
- Tamayo, M. (2007). *Metodología de la Investigación*. México: Limusa.
- Treybal, R. (2003). *Operaciones de transferencia de masa*. McGrawHill.
- Turton, R. y Shaeiwitz, J., (2017). *Chemical process equipment design*, Prentice Hall International.
- Vallverdú, S., Rodríguez, J., y Moreno, M. (2021). *Tratamiento digital de la señal: una introducción experimental*. Edicions UPC.
- Welty, J., Rorrer, G., y Foster, D. (2020). *Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer*. John Wiley & Sons.

Páginas web

- National Instrument. (20 de agosto de 2022). Adquisición de datos. data acquisition. <https://www.ni.com/es-cr/shop/data-acquisition.html>
- Arduino. (22 de agosto de 2022), Programar fácil, programar Arduino. <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>
- Geekfactory. (22 de agosto de 2022), Caudalímetro, sensor de flujo. <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/yf-s201-caudalimetro-sensor-de-flujo-1-2-pulgada/#:~:>
- Circuits today. (22 de agosto de 2022), Arduino, Historia del desarrollo de Arduino <https://www.circuitstoday.com/story-and-history-of-development-of-arduino>
- Etsist. (23 de agosto de 2022), potenciómetro. Etsist. <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/556-potenci%>

GLOSARIO

Destilación

Conocida también como fraccionamiento o destilación fraccionada. La separación de los constituyentes se basa en las diferencias de volatilidad.

Equilibrio L-V

Es una condición que se establece cuando las velocidades de las moléculas que pasan de la fase líquida a la fase vapor o viceversa llegan a ser iguales.

Error de la medida

Es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso.

Error

Valor leído en el instrumento - Valor ideal de la variable medida

Error absoluto

Valor leído - Valor verdadero

Error relativo

Representa la calidad de la medida y es igual al Error absoluto / Error verdadero

Fiabilidad

Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo unas condiciones especificadas.

Proceso

Cualquier operación que deba controlarse. Además, existen varios tipos de procesos tales como: químicos, físicos, biológicos, económicos, etc.

Punto de burbuja

Temperatura a la que se forma la primera burbuja de vapor cuando se calienta un líquido a presión constante

Punto de rocío

Temperatura a la que se forma la primera gota de líquido cuando se enfría un gas a presión constante

Resolución

Es la menor diferencia de valor que el instrumento puede distinguir. En los instrumentos analógicos interviene el operador según donde observe la posición de la aguja, su error de paralaje en la lectura efectuada y la distancia entre los valores marcados en la escala.

Ruido

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

Sistema

Se emplea para describir a un conjunto de componentes que interactúan con el fin de realizar un objetivo determinado un objetivo determinado Existen diversos tipos: físicos, químicos, biológicos, etc.

Sensores

Dispositivo o elemento utilizado para determinar una cantidad física, generalmente son empleados para medir el comportamiento de una planta a través de sus salidas.

ANEXOS

Anexo 1 Tablas de propiedades físicas y químicas

Tabla A1 Densidad de soluciones de Etanol (C₂H₅OH) en Agua

TABLE 2-112 Ethyl Alcohol (C₂H₅OH)*

%	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	%	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
0	0.99973	0.99913	0.99823	0.99708	0.99568	0.99406	0.99225	50	0.92126	0.91776	0.91384	0.90985	0.90580	0.90168	0.89750
1	785	725	636	520	379	217	034	51	0.91943	555	160	760	353	0.89940	519
2	602	542	453	336	194	031	0.98846	52	723	333	0.90936	534	125	710	288
3	426	365	275	157	014	0.98849	663	53	502	110	711	307	0.89896	479	056
4	258	195	103	0.98984	0.98839	672	485	54	279	0.90885	485	079	667	248	0.88823
5	098	032	0.98938	817	670	501	311	55	055	659	258	0.89850	437	016	589
6	0.98946	0.98877	780	656	507	335	142	56	0.90831	433	031	621	206	0.88784	356
7	801	729	627	500	347	172	0.97975	57	607	207	0.89803	392	0.88975	552	122
8	660	584	478	346	189	009	808	58	381	0.89980	574	162	744	319	0.87888
9	524	442	331	193	031	0.97846	641	59	154	752	344	0.88931	512	085	653
10	393	304	187	043	0.97875	685	475	60	0.89927	523	113	699	278	0.87851	417
11	267	171	047	0.97897	723	527	312	61	698	203	0.88882	446	044	615	180
12	145	041	0.97910	753	573	371	150	62	468	062	650	233	0.87809	379	0.86943
13	026	0.97914	775	611	424	216	0.96989	63	237	0.88830	417	0.87998	574	142	705
14	0.97911	790	643	472	278	063	829	64	006	507	183	763	337	0.86905	466
15	800	669	514	334	133	0.96911	670	65	0.88774	364	0.87948	527	100	667	227
16	692	552	387	199	0.96990	760	512	66	541	130	713	291	0.86863	429	0.85987
17	583	433	259	062	844	607	352	67	308	0.87895	477	054	625	190	747
18	473	313	129	0.96923	697	452	189	68	074	660	241	0.86817	387	0.85950	407
19	363	191	0.96997	782	547	294	023	69	0.87839	424	004	579	148	710	266
20	252	068	864	639	395	134	0.95856	70	602	187	0.86766	340	0.85908	470	025
21	139	0.96944	729	495	242	0.95973	687	71	365	0.86949	527	100	667	228	0.84783
22	024	818	592	348	087	809	516	72	127	710	287	0.85859	426	0.84986	540
23	0.96907	689	453	199	0.95929	643	343	73	0.86888	470	047	618	184	743	297
24	787	558	312	048	769	476	168	74	648	229	0.85806	376	0.84941	500	053
25	665	424	168	0.95895	607	306	0.94991	75	408	0.85988	564	134	698	257	0.83899
26	539	287	020	738	442	133	810	76	168	747	322	0.84891	455	013	564
27	406	144	0.95867	576	272	0.94955	625	77	0.85927	505	079	647	211	0.83768	319
28	268	0.95996	710	410	098	774	438	78	685	262	0.84835	403	0.83966	523	074
29	125	844	548	241	0.94922	590	248	79	442	018	590	158	720	277	0.82827
30	0.95977	686	382	067	741	403	055	80	197	0.84772	344	0.83911	473	029	578
31	823	524	212	0.94890	557	214	0.93860	81	0.84950	525	096	664	224	0.82780	329
32	665	357	038	709	370	021	662	82	702	277	0.83848	415	0.82974	530	079
33	502	186	0.94860	525	180	0.93825	461	83	453	028	599	164	724	279	0.81828
34	334	011	679	337	0.93986	626	257	84	203	0.83777	348	0.82913	473	027	576
35	162	0.94832	494	146	790	425	051	85	0.83951	525	095	660	220	0.81774	322
36	0.94986	650	306	0.93952	591	221	0.92843	86	697	271	0.82840	405	0.81965	519	067
37	805	464	114	756	390	016	634	87	441	014	583	148	708	262	0.80811
38	620	273	0.93919	556	186	0.92808	422	88	181	0.82754	323	0.81888	448	003	552
39	431	079	720	353	0.92979	597	208	89	0.82919	492	062	626	186	0.80742	291
40	238	0.93882	518	148	770	385	0.91992	90	654	227	0.81797	362	0.80922	478	028
41	042	682	314	0.92940	558	170	774	91	386	0.81959	529	094	655	211	0.79761
42	0.93842	478	107	729	344	0.91952	554	92	114	688	257	0.80823	384	0.79941	491
43	639	271	0.92897	516	128	733	332	93	0.81839	413	0.80983	549	111	669	220
44	433	062	685	301	0.91910	513	108	94	561	134	705	272	0.79835	393	0.78947
45	226	0.92852	472	085	692	291	0.90884	95	278	0.80852	424	0.79991	555	114	670
46	017	640	257	0.91868	472	069	660	96	0.80991	566	138	706	271	0.78831	388
47	0.92806	426	041	649	250	0.90845	434	97	698	274	0.79846	415	0.78981	542	100
48	593	211	0.91823	429	028	621	207	98	399	0.79975	547	117	684	247	0.77806
49	379	0.91995	604	208	0.90805	396	0.89979	99	094	670	243	0.78814	382	0.77946	507
								100	0.79784	360	0.78934	506	075	641	203

*For data from -78° to 78°C, see p. 2-142, Table 2N-5, *American Institute of Physics Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1957. See Tables 2-214 and 2-305 for pure component densities.

Nota: Tomado de *Manual del ingeniero químico Perry*, (2019). R, Green, D, y Maloney, J. O.

Tabla A2 Parámetros: B y C, para determinar la viscosidad de líquidos puros

$\text{Log}(\mu) = B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{C} \right)$	<p>T : Temperatura [K] μ : Viscosidad del líquido [cP] B, C : Parámetros de viscosidad</p>
--	--

NUM.	COMPONENTE	FORMULA	M kg/kmol	B	C
1	TRIBROMURO DE ALUMINIO	AlBr ₃	266,694		
2	TRICLORURO DE ALUMINIO	AlCl ₃	133,341		
3	TRIODURO DE ALUMINIO	AlI ₃	407,697		
4	ARGON	Ar	39,948	107,57	58,76
5	ARSENICO	As	74,922		
6	TRICLORURO DE ARSENICO	AsCl ₃	181,281		
70	ACIDO CLORHIDRICO	HCl	36,461	372,78	277,74
71	HIDROGENO DEUTERADO	HD	3,023		
72	ACIDO FLUORHIDRICO	HF	20,006	438,74	199,62
73	ACIDO YODHIDRICO	HI	127,912	155,15	285,43
74	DIFLUOROAMINA	HF ₂ N	53,011		
75	HIDROGENO (equilibrio)	H ₂	2,016	13,82	5,39
76	HIDROGENO (normal)	H ₂	2,016		
77	AGUA	H₂O	18,015	658,25	283,16
78	SULFURO DE HIDROGENO	H ₂ S	34,08	342,79	165,54
79	ARSINA	H ₃ As	77,946		
80	AMONIACO	NH ₃	17,031	349,04	169,63
151	FLUORURO DE VINILO	C ₂ H ₃ F	46,044		
152	1,1,1-TRIFLUOROETANO	C ₂ H ₃ F ₃	84,041		
153	ACETONITRILLO	C ₂ H ₃ N	41,053	334,91	210,05
154	ISOCIANATO DE METILO	C ₂ H ₃ NO	57,052		616,78
155	ETILENO	C ₂ H ₄	28,054	168,98	93,94
156	1,2-DIBROMOETANO	C ₂ H ₄ Br ₂	187,862		
157	1,1-DICLOROETANO	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,96	412,27	239,1
158	1,2-DICLOROETANO	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,96	473,95	277,98
159	1,1-DIFLUOROETANO	C ₂ H ₄ F ₂	66,051	319,27	186,56
160	ACETALDEHIDO	C ₂ H ₄ O	44,054	368,7	192,82
161	OXIDO DE ETILENO	C ₂ H ₄ O	44,054	341,88	194,22
162	ACIDO ACETICO	C ₂ H ₄ O ₂	60,052	600,94	306,21
163	FORMIATO DE METILO	C ₂ H ₄ O ₂	60,052	363,19	212,7
164	BROMURO DE ETILO	C ₂ H ₅ Br	108,966	369,8	220,68
165	CLORURO DE ETILO	C ₂ H ₅ Cl	64,515	320,94	190,83
166	FLUORURO DE ETILO	C ₂ H ₅ F	48,06		
167	YODURO DE ETILO	C ₂ H ₅ I	155,967		
168	ETANO	C ₂ H ₆	30,07	156,6	95,57
169	DIMETIL ETER	C ₂ H ₆ O	46,069		
170	ETANOL	C₂H₆O	46,069	686,64	300,88
171	ETILEN GLICOL	C ₂ H ₆ O ₂	62,069	1365	402,41

Nota. Adaptado de Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa (p. 393), por A. Arias, 2011, PRAKTICO L&C S.R.L.

Tabla A3 Parámetros para determinar la densidad de líquidos puros

$\rho = A z_c \left[-(1 - T_R)^{2/7} \right]$	<p>T : Temperatura [K] ρ : Densidad del líquido [g/mL] $T_R = T / T_C$ A, z_c : Parámetros de densidad T_C : Temperatura crítica [K] Rango: $T_{MIN} = T_F$ a $T_{MAX} = T_C$</p>
--	---

Nº	FÓRMULA	NOMBRE	M [g/mol]	A	z_c	T_F [K]	T_C [K]	ρ líquido	
								@T [K]	[g/cm ³]
0	H ₂ O	WATER (AGUA), Véase al final de esta tabla.							
1	CCl ₄	CARBON-TETRACHLORIDE	153,823	0,5566	0,272	250	556,5	298	1,584
2	CCl ₃ F	TRICHLOROFLUOROMETHANE	137,368	0,567	0,28	162	471,2	290	1,494
3	CCl ₂ F ₂	DICHLORODIFLUOROMETHANE	120,914	0,5731	0,273	115,4	384,8	158	1,75
4	CClF ₃	CHLOROTRIFLUOROMETHANE	104,459	0,5816	0,278	92	302	243	1,298
5	CF ₄	CARBON-TETRAFLUORIDE	88,005	0,6276	0,276	86,4	227,5	193	1,33
6	CO	CARBON-MONOXIDE	28,01	0,3145	0,294	68,1	133,4	81	0,803
7	CO ₂	CARBON-DIOXIDE	44,01	0,4664	0,275	216,56	304,2	298	0,713
8	COS	CARBONYL-SULFIDE	60,07	0,4369	0,279	134,3	378	174	1,274
9	CS ₂	CARBON-DISULFIDE	76,131	0,4483	0,276	161,3	552	273	1,293
10	CHCl ₃	CHLOROFORM	119,378	0,5594	0,293	209,6	535,5	293	1,489
70	C ₂ H ₄ OS	THIOACETIC-ACID	76,113	0,4163	0,317	150,16	577,34	293	1,064
71	C ₂ H ₆ S	THIACYCLOPROPANE	60,114	0,2923	0,214	165,37	555	298	1,0076
72	C ₂ H ₅ BR	BROMOETHANE	108,966	0,5997	0,32	154,6	505,7	298	1,451
73	C ₂ H ₅ Cl	CHLOROETHANE	64,514	0,3398	0,274	136,8	460,4	293	0,896
74	C ₂ H ₅ F	FLUROETHANE	48,06	0,2844	0,272	129,9	375,3		
75	C ₂ H ₅ I	IODOETHANE	155,966	0,6334	0,248	165	554	293	1,95
76	C ₂ H ₅ N	ETHYLENIMINE	43,068	0,3022	0,215	195,16	524		
77	C ₂ H ₅ NO ₂	NITROETHANE	75,067	0,322	0,238	223,16	595	298	1,0448
78	C ₂ H ₅ NO ₃	ETHYL-NITRATE	91,066	0	0	178,56	0	293	1,1084
79	C ₂ H ₆	ETHANE	30,069	0,2084	0,285	89,9	305,4	183	0,548
80	C ₂ H ₆ O	METHYL-ETHER	46,069	0,2966	0,307	131,7	400,1	293	0,667
81	C ₂ H ₆ O	ETHYL-ALCOHOL	46,069	0,2567	0,24	159,1	515,8	293	0,789
82	C ₂ H ₆ O ₂	ETHYLENE-GLYCOL	62,068	0,3074	0,23	260,2	790	293	1,114
83	C ₂ H ₆ S	METHYL-SULFIDE	62,129	0,3021	0,266	174,9	503,3	293	0,848
84	C ₂ H ₆ S	ETHANETHIOL	62,129	0,3071	0,274	125,3	498,6	293	0,839
85	C ₂ H ₆ S ₂	METHYL-DISULFIDE	94,189	0,3572	0,268	188,44	605	298	1,0569
86	C ₂ H ₇ N	ETHYLAMINE	45,084	0,2573	0,27	192	456,3	293	0,683
87	C ₂ H ₇ N	DIMETHYLAMINE	45,084	0,243	0,256	181	437,8	293	0,656
88	C ₃ H ₃ N	ACRYLONITRILE	53,063	0,2321	0,21	189,5	536	293	0,806
89	C ₃ H ₄	ALLENE(PROPADIENE)	40,065	0,244	0,271	136,9	385,4	238	0,658
90	C ₃ H ₄	PROPYLENE(METHYLACETYLENE)	40,065	0,2537	0,275	170,5	401	223	0,706

Nota. Adaptado de Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa (p. 404), por A. Arias, 2011, PRAKTICO L&C S.R.L.

Tabla A4 Constantes de Antoine para determinar la presión de vapor de saturación de líquidos puros

<p>Ecuación de ANTOINE</p> $\text{Log}(P^{\text{sat}}) = A_0 - \frac{B_0}{T + C_0}$	<p>T : Temperatura [°C] P^{sat} : Presión de vapor del líquido puro [kPa] A₀, B₀, C₀ : Constantes de Antoine Log = Log₁₀</p>
--	--

COMPUESTOS PUROS			Peso Molec.	CONSTANTES DE ANTOINE			RANGO	
No.	FORMULA	NOMBRE	[kg/kmol]	A ₀	B ₀	C ₀	T _{min} °C	T _{max} °C
0	H ₂ O	WATER (<i>Agua</i>)	18,015	7,07406	1657,46	227,02	11	168
1	CCL ₄	CARBON-TETRACHLORIDE	153,823	6,019	1219,58	227,17	-20	101
2	CCL ₃ F	TRICHLOROFUOROMETHANE	137,368	6,0092	1043,01	236,86	-33	27
3	CCL ₂ F ₂	DICHLORODIFLUOROMETHANE	120,914	5,81109	782,072	235,377	-119	-30
4	CCLF ₃	CHLOROTRIFLUOROMETHANE	104,459	5,47599	522,061	231,677	-150	-81
5	CF ₄	CARBON-TETRAFLUORIDE	88,005	6,0972	540,5	260,1	-180	-125
6	CO	CARBON-MONOXIDE	28,01	5,3651	230,27	260,01	-210	-165
7	CO ₂	CARBON-DIOXIDE	44,01	8,9355	1347,79	273	-119	-69
8	COS	CARBONYL-SULFIDE	60,07	6,03213	804,48	250	-111	-49
9	CS ₂	CARBON-DISULFIDE	76,131	6,0668	1168,62	241,54	-45	69
10	CHCL ₃	CHLOROFORM	119,378	6,062	1171,2	227	-13	97
70	C ₂ H ₄ OS	THIOACETIC-ACID	76,113	6,87379	1479,02	216,82	40	106
71	C ₂ H ₄ S	THIACYCLOPROPANE	60,114	6,16215	1194,37	232,42	-35	77
72	C ₂ H ₅ BR	BROMOETHANE	108,966	6,0449	1090,81	231,72	-47	60
73	C ₂ H ₅ CL	CHLOROETHANE	64,514	6,0649	1012,78	236,68	-73	37
74	C ₂ H ₅ F	FLUOROETHANE	48,06	6,1034	854,21	246,16	-103	-21
75	C ₂ H ₅ I	IODOETHANE	155,966	6,0839	1232	229	30	60
76	C ₂ H ₅ N	ETHYLENIMINE	43,068	6,2572	1133,7	210,01	-25	86
77	C ₂ H ₅ NO ₂	NITROETHANE	75,067	6,71267	1671,27	241,187	-21	114
78	C ₂ H ₅ NO ₃	ETHYL-NITRATE	91,066	6,2886	1338,8	224,9	0	60
79	C ₂ H ₆	ETHANE	30,069	5,95942	663,7	256,47	-143	-75
80	C ₂ H ₆ O	METHYL-ETHER	46,069	6,4413	1025,56	256,06	-94	-8
81	C ₂ H ₆ O	ETHYL-ALCOHOL	46,069	7,3382	1652,05	231,48	-3	96
82	C ₂ H ₆ O ₂	ETHYLENE-GLYCOL	62,068	7,9194	2615,4	244,91	91	221
83	C ₂ H ₆ S	METHYL-SULFIDE	62,129	6,07369	1090,76	230,799	-47	58
84	C ₂ H ₆ S	ETHANETHIOL	62,129	6,07696	1084,53	231,385	-49	56
85	C ₂ H ₆ S ₂	METHYL-DISULFIDE	94,189	6,10282	1346,34	218,863	6	135
86	C ₂ H ₇ N	ETHYLAMINE	45,084	6,5111	1137,3	235,86	-58	43
87	C ₂ H ₇ N	DIMETHYLAMINE	45,084	6,1888	1024,4	238,01	-55	37
88	C ₃ H ₃ N	ACRYLONITRILE	53,063	6,0412	1208,3	222,01	-18	112
89	C ₃ H ₄	ALLENE(PROPADIENE)	40,065	4,8386	458,06	196,07	-99	-16
90	C ₃ H ₄	PROPYNE(METHYLACETYLENE)	40,065	5,90975	803,73	229,08	-90	-6

Nota. Adaptado de Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa (p. 416), por A. Arias, 2011, PRAKTICO L&C S.R.L.

Tabla A5 Constantes para determinar el calor específico de líquidos y el calor latente de vaporización de compuestos puros

<p>Ec. cuadrática para el Calor específico de líquidos:</p> $C_{pL} = A + BT + CT^2$	<p>T : Temperatura [K] C_{pL} : Calor específico del líquido [J/mol.K] A,B,C : Constantes del Cp Rango : T_{min} a T_{máx} [K]</p>
<p>Ec. de Watson para el Calor latente de vaporización:</p> $\lambda = \lambda_b \left[\frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right]^{0.38}$	<p>T : Temperatura [K] T_c : Temperatura crítica [K] T_b : Temperatura de ebullición normal [K] λ_b : Calor latente de vaporización normal [kJ/mol] λ : Calor latente de vaporización [kJ/mol] Rango : T_f a T_c [K]</p>
<p>Ec. de Riedel (ER), es usado para el cálculo de λ_b en casos que no se disponga el valor del calor latente de vaporización normal:</p> $\lambda_b = 1.093RT_b \left[\frac{\ln(P_c) - 1.013}{0.930 - T_b/T_c} \right]$	<p>T_c : Temperatura crítica [K] T_b : Temperatura de ebullición normal [K] P_c : Presión crítica [bar] R = 0,008314 kJ/mol.K (En la tabla, el uso de esta alternativa se identifica con ER)</p>

En el caso del agua es mucho más recomendable hacer uso de las tablas específicas del calor específico y las tablas termodinámicas.

Nro.	Fórmula Global	NOMBRE DEL COMPUESTO	M [kg/kmol]	CALOR ESPECÍFICO DEL LÍQUIDO: C _{pL}					CALOR LATENTE VAPORIZACIÓN H _{vap} = λ			
				Constantes para el C _{pL}			T _{min} [K]	T _{máx} [K]	λ _b a T _b [kJ/mol]	T _b [K]	T _c [K]	Tipo Ec.
				A	B	C						
0	H ₂ O	WATER	18,02	103,08	-0,1748	2,75E-04	273,15	423,15	40,669	373,15	647,3	
1	CCl ₄	CARBON-TETRACHLORIDE	153,823	139,7338	-0,2045003	5,87E-04	250	379,84	29,999	349,8	556,5	
2	CCl ₃ F	TRICHLOROFLUOROMETHANE	137,368	111,6071	-0,036574	2,37E-04	162	327,1	24,769	297,1	471,2	
3	CCl ₂ F ₂	DICHLORODIFLUOROMETHANE	120,913	97,75903	-2,94E-02	3,0E-04	115,4	273,29	19,966	243,3	384,8	
4	CCF ₃	CHLOROTRIFLUOROMETHANE	104,459	88,98669	-3,48E-02	4,40E-04	92	221,7	15,506	191,7	302	
5	CF ₄	CARBON-TETRAFLUORIDE	88,005	86,44433	-0,0761666	8,45E-04	86,4	175,15	11,966	145,2	227,5	
6	CO	CARBON-MONOXIDE	28,01	61,53487	-0,1769687	2,05E-03	68,1	111,61	6,042	81,6	133,4	
7	CO ₂	CARBON-DIOXIDE	44,01	98,63061	-0,2941525	9,33E-04	216,56	258,57	15,326	216,6	304,2	
8	COS	CARBONYL-SULFIDE	60,07	71,81666	-2,95E-02	2,38E-04	134,3	252,91	20,887	222,9	378	
9	CS ₂	CARBON-DISULFIDE	76,131	68,39258	-4,57E-02	2,43E-04	161,3	349	26,736	319	552	
10	CHCl ₃	CHLOROFORM	119,377	110,5378	-0,1215667	4,4E-04	209,6	364,33	29,706	334,3	535,5	
70	C ₂ H ₃ OS	THIOACETIC-ACID	76,113						34,464	360,2	577,3	ER
71	C ₃ H ₄ S	THIACYCLOPROPANE	60,114	81,29564	-8,17E-02	3,7E-04	165,37	358,07	29,204	328,1	555	
72	C ₂ H ₅ BR	BROMOETHANE	108,965	89,6772	-5,96E-02	3,32E-04	154,6	341,73	26,485	311,7	505,7	
73	C ₂ H ₅ Cl	CHLOROETHANE	64,514	95,86747	-2,27E-02	2,03E-04	136,8	315,5	24,686	285,5	460,4	
74	C ₂ H ₅ F	FLUOROETHANE	48,06	77,39183	-3,34E-02	2,67E-04	129,9	265,45	23,096	235,5	375,3	
75	C ₂ H ₅ I	IODOETHANE	155,966	116,5589	-0,1014164	4,70E-04	165	375,59	29,769	345,6	554	
76	C ₂ H ₅ N	ETHYLENIMINE	43,068	104,1616	-0,1580607	5,68E-04	195,16	358,55	32,049	328,6	524	
77	C ₂ H ₅ NO ₂	NITROETHANE	75,067						35,146	387,2	595	
78	C ₂ H ₅ NO ₃	ETHYL-NITRATE	91,066						33,137	360,4		
79	C ₂ H ₆	ETHANE	30,069	66,3402	-2,09E-02	3,04E-04	89,9	214,63	14,707	184,6	305,4	
80	C ₂ H ₅ O	METHYL-ETHER	46,069	95,20254	-0,0286597	2,50E-04	131,7	279,16	21,506	249,2	400,1	
81	C ₂ H ₅ O	ETHYL-ALCOHOL	46,069	100,922	-0,118386	4,99E-04	159,1	381,45	38,744	351,5	515,8	
82	C ₂ H ₄ O ₂	ETHYLENE-GLYCOL	62,068	153,0029	-0,114819	3,32E-04	260,2	500,49	52,509	470,5	790	
83	C ₂ H ₅ S	METHYL-SULFIDE	62,129	106,7474	-0,163262	5,08E-04	174,9	340,66	26,945	310,7	503,3	
84	C ₂ H ₅ S	ETHANETHIOL	62,129	99,36189	-0,0630197	4,26E-04	125,3	338,73	26,778	308,7	498,6	
85	C ₂ H ₅ S ₂	METHYL-DISULFIDE	94,189	138,1671	-0,1070533	4,40E-04	188,44	412,89	33,681	382,9	605	
86	C ₂ H ₇ N	ETHYLAMINE	45,084	122,6822	-6,93E-02	3,23E-04	192	319,79	28,033	289,8	456,3	
87	C ₂ H ₇ N	DIMETHYLAMINE	45,084	129,4855	-7,80E-02	3,85E-04	181	310,09	26,485	280,1	437,8	
88	C ₃ H ₃ N	ACRYLONITRILE	53,063	106,7761	-0,1561835	5,65E-04	189,5	380,5	32,635	350,5	536	

Nota. Adaptado de *Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa* (p. 442), por A. Arias, 2011, PRAKTICO L&C S.R.L.

Anexo 2 Parámetros para el diámetro y la caída de presión en la columna

Figura A1 Correlación de inundación generalizada y caída de presión para columnas empaquetadas

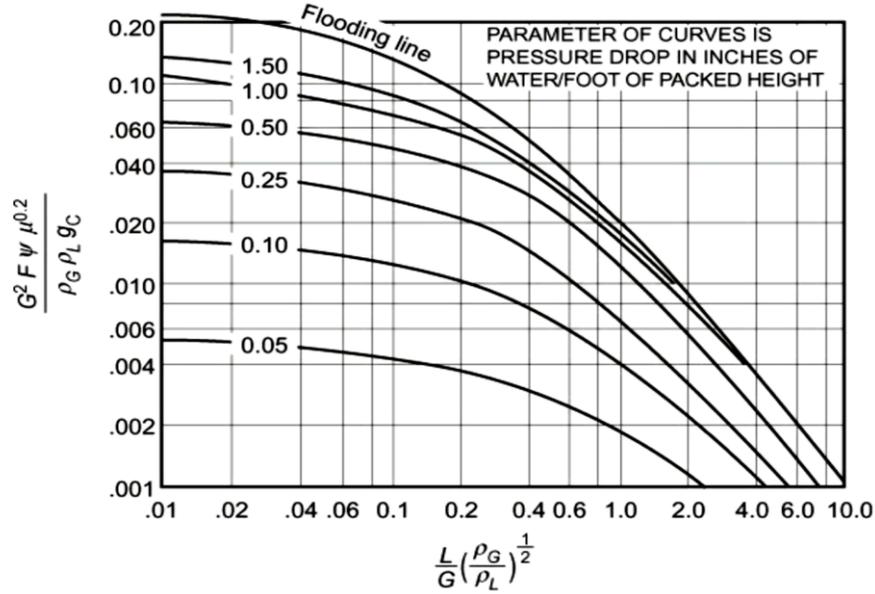


Figura A2 Parámetros para Empaques Aleatorios

		Nominal Packing Size (in)							
		0.375	0.5	0.625	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0
Raschig Rings, Metal, 1/32-in Wall	F	390	300	170	155	115			
	α			1.20					
	β			0.28					
Raschig Rings, Metal, 1/16-in Wall	F		410	290	220	137	110	83	57
	α				0.80	0.42		0.29	0.23
	β				0.30	0.21		0.20	0.14
Raschig Rings, Ceramic	F	1000	580	380	255	155	125	95	65
	α	4.70	3.10	2.35	1.34	0.97	0.57	0.39	0.24
	β	0.41	0.41	0.26	0.26	0.25	0.23	0.23	0.17
Pall Rings, Plastic	F			97		52		32	25
	α					0.22			0.10
	β					0.14			0.12
Pall Rings, Metal	F			70		48		28	20
	α			0.43		0.15		0.08	0.06
	β			0.17		0.16		0.15	0.12
Berl Saddles, Ceramic	F		240		170	110		65	45
	α		1.2		0.62	0.39		0.21	0.16
	β		0.21		0.17	0.17		0.13	0.12
Intalox Saddles, Ceramic	F		200		145	98		52	40
	α		1.04		0.52	0.52		0.13	0.14
	β		0.37		0.25	0.16		0.15	0.10

Source: Reprinted and electronically reproduced by permission from Wankat (2017).

Nota. Adaptado de *Chemical process equipment desing*, por R. Turton y J. Shaeiwitz, (p. 352), Prentice Hall.

Anexo 3 Datos obtenidos para la evaluación

(a) Sensores de caudal y temperatura

La Tabla A6, muestra los datos obtenidos del caudal en base al tiempo y volumen, y los datos obtenidos con el sensor de caudal YF-S201 a una temperatura de 20 °C, donde t es el tiempo, v es el volumen y Q es el caudal.

Tabla A6 Comparación de la medida de caudal

Nº	Caudal medido con probeta y cronómetro				Sensor de caudal	
	t (s)	v (mL)	t (min)	v (L)	Q (L/min)	Q (L/min)
1	5,72	315	0,095	0,315	3,30	2,99
2	5,52	319	0,092	0,319	3,47	3,04
3	6,26	345	0,104	0,345	3,31	3,38
4	5,94	330	0,099	0,330	3,33	3,04
5	6,15	328	0,103	0,328	3,20	2,98
6	6,03	345	0,101	0,345	3,43	3,04
7	6,40	329	0,107	0,329	3,08	3,10
8	6,41	325	0,107	0,325	3,04	3,10
9	7,6	365	0,127	0,365	2,88	3,10
10	4,75	230	0,079	0,230	2,91	3,10
Promedio					3,20	3,09

La Tabla A7, muestra los datos obtenidos de la medida de temperatura en los seis puntos del equipo de destilación: hervidor (T_1), base, mitad y tope de la columna de rectificación (T_2 , T_3 , T_4) respectivamente, entrada y salida del líquido refrigerante del condensador (T_5 , T_6) correspondientemente, cada temperatura es comparada con los datos obtenidos por medio del sensor de temperatura DS18B20 instalados en los mismos puntos.

Tabla A7 Comparación de la medida de temperatura

Tiempo (min)	Sensor analógico						Sensor digital DS18B20					
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
15	43	23	20	19	19	18	54,2	23,7	23,6	23,4	17,5	17,3
20	75	26	22	21	16	16	62,0	25,0	23,5	23,4	17,4	17,2
25	87	46	62	72	17	26	80,5	45,6	41,5	36,1	17,5	17,4
30	90	56	64	76	17	25	82,8	54,4	61,4	67,1	17,5	25,1
35	92	64	75	77	17	25	84,9	64,9	71,3	74,1	17,5	26,1
40	94	66	77	80	17	25	86,1	65,9	71,6	75,8	17,6	26,1
45	95	67	78	85	18	27	87,2	66,2	71,6	78,7	17,6	28,5
50	97	70	79	93	18	26	88,3	67,6	73,3	80,9	17,6	26,4
55	98	70	80	96	18	28	89,3	68,7	73,5	83,3	17,5	26,4
60	99	75	82	97	18	28	90,3	68,7	75,0	85,6	17,6	27,5
65	99	75	80	98	18	28	91,3	69,9	75,8	88,3	17,5	26,6
70	99	75	81	99	18	28	92,1	70,0	76,6	89,4	17,5	26,4

(b) Equilibrio Líquido Vapor (ELV), Sistema Etanol-Agua

Tabla A8 Datos del ELV para el Sistema ETANOL AGUA, $P=548\text{mmHg}$

T °C	x	y	T °C	x	y
91,09	0,0000	0,0000	71,14	0,5500	0,6866
81,95	0,0500	0,3280	70,83	0,6000	0,7083
78,19	0,1000	0,4416	70,57	0,6500	0,7317
76,18	0,1500	0,5000	70,34	0,7000	0,7573
74,92	0,2000	0,5374	70,16	0,7500	0,7857
74,03	0,2500	0,5651	70,04	0,8000	0,8176
73,34	0,3000	0,5880	69,97	0,8500	0,8538
72,77	0,3500	0,6084	69,98	0,9000	0,8953
72,28	0,4000	0,6277	70,09	0,9500	0,9434
71,86	0,4500	0,6468	70,30	1,0000	1,0000
71,48	0,5000	0,6663			

Nota. Adaptado de *Fundamentos y aplicaciones de transferencia de masa* (p. 452), por A. Arias, 2011, PRAKTICO L&C S.R.L.

Figura A3 Diagramas de composición

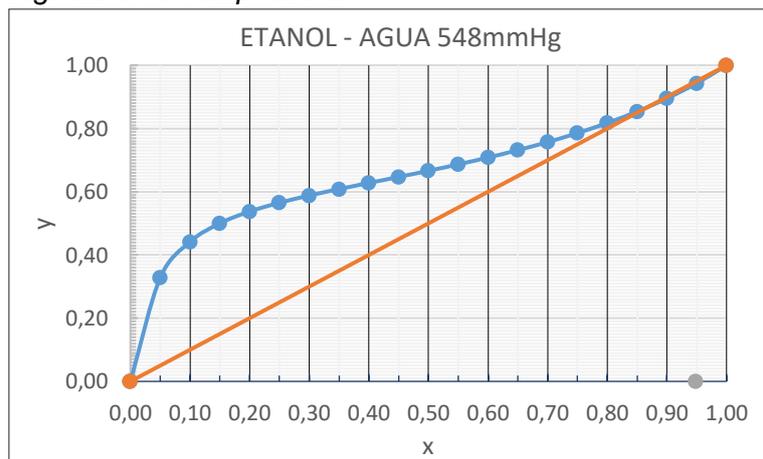
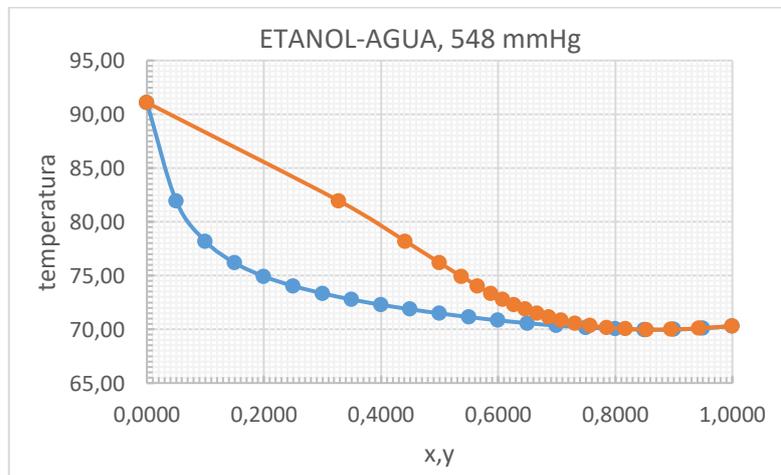
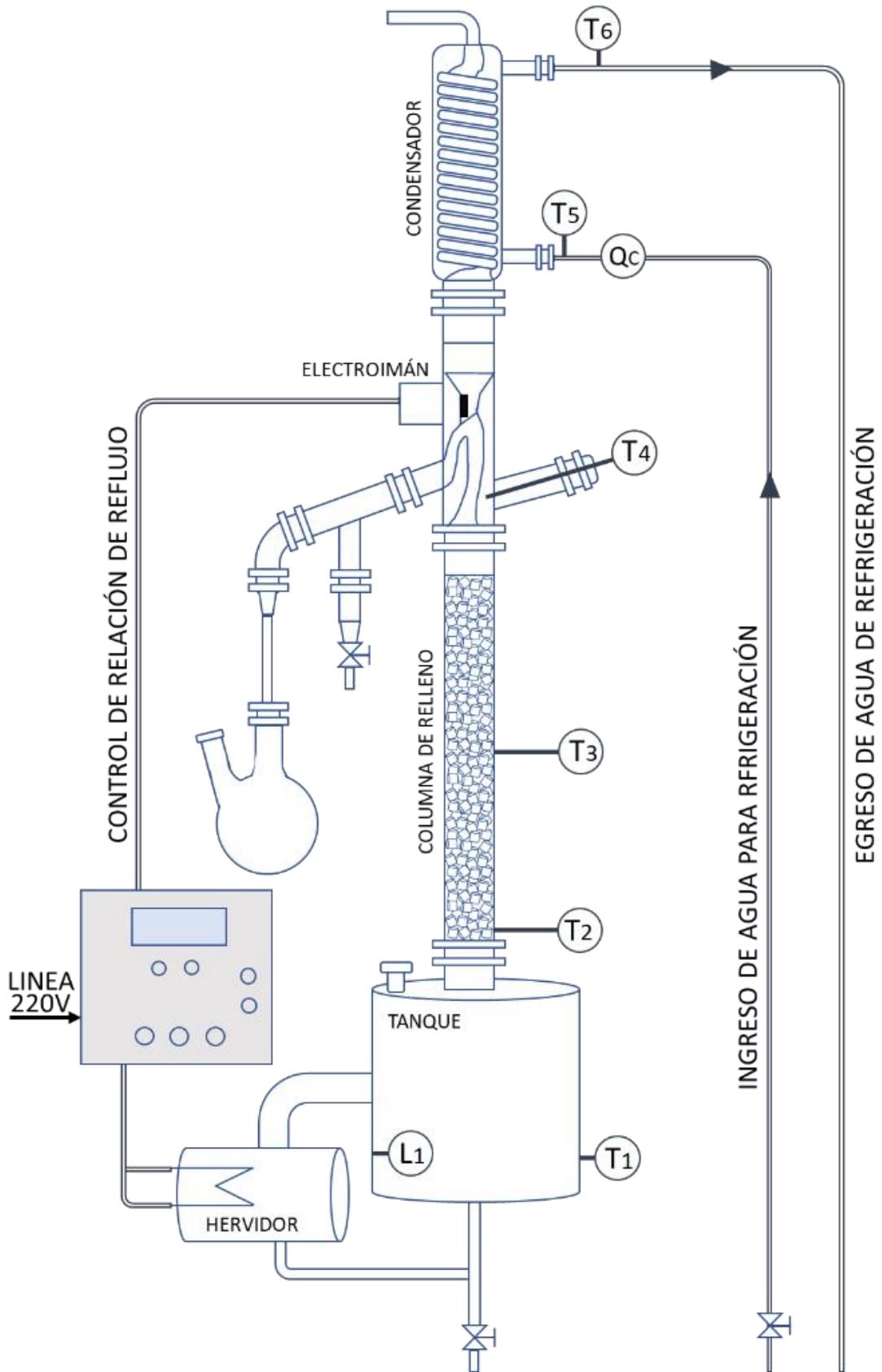


Figura A4 Diagrama temperatura composición



Anexo 4 Diagrama del equipo de destilación batch con rectificación



Anexo 5 Cálculos para hallar el peso y las fracciones molares

Datos obtenidos en la práctica

	Peso de lastre		Promedio
X _F	5,1229	5,1242	5,1236
X _D	5,2250	5,2271	5,2261
X _W	5,1054	5,1063	5,1059

Peso de lastre con agua = 6,0982g

Peso de lastre con aire = 5,1024g

Determinamos la densidad de cada muestra

$$\rho_i (g / mL) = \left(\frac{W_i - W_{aire}}{W_{H_2O} - W_{aire}} \right)$$

Donde:

W_i = peso del lastre promedio de cada muestra

W_{aire} = peso de lastre con aire

W_{agua} = peso del lastre con agua destilada.

$$\rho_{x_F} (g / mL) = \left(\frac{5,1236 - 6,0982}{5,1024 - 6,0982} \right) = 0,9788$$

$$\rho_{x_D} (g / mL) = \left(\frac{5,1236 - 6,0982}{5,1024 - 6,0982} \right) = 0,8758$$

$$\rho_{x_W} (g / mL) = \left(\frac{5,1236 - 6,0982}{5,1024 - 6,0982} \right) = 0,9965$$

Empleando la Tabla A1 se determina el % en peso de acuerdo a la densidad de cada muestra.

$$\% P_{x_F} = 13,5152 \rightarrow W_{x_F} = 0,135152$$

$$\% P_{x_D} = 67,2203 \rightarrow W_{x_D} = 0,672203$$

$$\% P_{x_W} = 1,8859 \rightarrow W_{x_W} = 0,0189$$

Empleando los pesos moleculares de etanol (A) y agua (B) se obtiene la fracción molar del componente más volátil en cada muestra. $M_A = 46,0690$ kg/mol y $M_B = 18,015$ kg/mol

Usamos la siguiente ecuación:

$$x_i = \left(\frac{W_i / M_A}{W_i / M_A + (1 - W_i) / M_B} \right)$$

Remplazando tenemos:

$$x_F = \left(\frac{0,135152 / 46,0690}{0,135152 / 46,0690 + (1 - 0,135152) / 18,0150} \right) = 0,0576$$

$$x_D = \left(\frac{0,6722 / 46,0690}{0,6722 / 46,0690 + (1 - 0,6722) / 18,0150} \right) = 0,4450$$

$$x_W = \left(\frac{0,0189 / 46,0690}{0,0189 / 46,0690 + (1 - 0,0189) / 18,0150} \right) = 0,0075$$

La siguiente tabla resume todo el procedimiento anterior, y finalmente se muestra la fracción molar obtenida con el lastre

	Peso de lastre		Promedio	P (g/mL)	% P	Fracción molar
X _F	5,1229	5,1242	5,1236	13,5152	0,1352	0,0576
X _D	5,2250	5,2271	5,2261	67,2203	0,6722	0,4450
X _W	5,1054	5,1063	5,1059	1,8859	0,0189	0,0075

Fracción molar obtenida con el alcoholímetro

	T °C	°GL	% P	ρ (g/mL)	Fracción molar
X _F	21,2	17	13,75	0,97625717	0,0587
X _D	31,5	77	70.11	0,85883357	0,4784
X _W	87,1	3,8	8	0,97808	0,0119

Con estos valores determinamos el peso molar de la mezcla en cada etapa: alimentación destilado y residuo mediante la siguiente ecuación:

$$M_i = x_i M_A + (1 - x_i) M_B$$

Reemplazando obtenemos:

$$M_F = 0,0576 \times 46,0690 + (1 - 0,0576) \times 18,0150 = 19,6306$$

$$M_D = 0,4450 \times 46,0690 + (1 - 0,4450) \times 18,0150 = 30,4999$$

$$M_W = 0,0075 \times 46,0690 + (1 - 0,0075) \times 18,0150 = 18,2243$$

Finalmente

$$F(Kmol) = m_F / M_F = 19,16 / 19,6306 = 0,9760$$

$$D(Kmol) = m_D / M_D = 3,7 / 30,4999 = 0,1213$$

$$W(Kmol) = m_W / M_W = 14,66 / 18,2243 = 0,8044$$

Anexo 6 Código para el sistema de adquisición de datos

(a1) IDE de Arduino (Arduino promini)

```
#include <Encoder.h>
#include <Wire.h>
char VoltBuff[4]; //L
char VoltBuff1[4]; // D
#include <pt.h>
struct pt hilol;
Encoder knobLeft(A2, A1);
Encoder knobRight(2, 3);
long newLeft, newRight;
void setup() {
  Wire.begin(8); // configuramos el esclavo I2C
  Wire.onRequest(requestEvent);
  PT_INIT(&hilol);
}
void requestEvent() {
  dtostrf(newLeft, 3, 0, VoltBuff);
  dtostrf(newRight, 3, 0, VoltBuff1);
  Wire.write(VoltBuff);
  Wire.write(VoltBuff1);
}
void loop() {
  newLeft = knobLeft.read();
  newRight = knobRight.read();
  if (newLeft != positionLeft || newRight != positionRight) {
    positionLeft = newLeft;
    positionRight = newRight;
  }
}
reflujo(&hilol);
}
void reflujo(struct pt *pt) {
  PT_BEGIN(pt);
  static long t = 0;
  pinMode(5, OUTPUT);
  do {
    digitalWrite(5, HIGH);
    t = millis();
    PT_WAIT_WHILE(pt, (millis()-t)<newLeft*1000);
    digitalWrite(5, LOW);
    t = millis();
    PT_WAIT_UNTIL(pt, (millis()-t)>=newRight*1000);
  } while(true);
  PT_END(pt);
}
```

(a1) IDE de Arduino (Arduino Nano)

```
#include "U8glib.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h>
char c_1;
```

```

    int i;
    String string, string1, string2;
#define ledflow      A2
#define nivelbajo    A1
#define releResist   A3
#define levelpin     3
#define flowpin      2
uint8_t c = 0;
uint8_t item;
U8GLIB_ST7920_128X64 u8g (9, 10, 11, U8G_PIN_NONE);
#define ONE_WIRE_BUS 8
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress t11 = {0x28, 0x29, 0xD6, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x73};
DeviceAddress t22 = {0x28, 0x6D, 0xB9, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0xA4};
DeviceAddress t33 = {0x28, 0x88, 0x94, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x72};
DeviceAddress t44 = {0x28, 0x92, 0x98, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0xC7};
DeviceAddress t55 = {0x28, 0xBD, 0xEA, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0xBB};
DeviceAddress t66 = {0x28, 0xE0, 0x92, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x8C};
float temp1;//se declara las tempert tipo flotante con resolucion 2
comas decim
float temp2;
float temp3;
float temp4;
float temp5;
float temp6;

volatile int count=0;
double flowrate;

void setup() {
Serial.begin(56000);
Wire.begin();
  pinMode(levelpin, INPUT);
  pinMode(ledflow,OUTPUT);
  pinMode(nivelbajo,OUTPUT);
  pinMode(releResist,OUTPUT);
  digitalWrite(releResist,LOW);
  digitalWrite(ledflow,LOW);
  digitalWrite(nivelbajo,LOW);
sensors.begin();
sensors.setResolution(t11,9);
sensors.setResolution(t22,9);
sensors.setResolution(t33,9);
sensors.setResolution(t44,9);
sensors.setResolution(t55,9);
sensors.setResolution(t66,9);
attachInterrupt(0, flow, RISING);
//pantalla inicio
  u8g.firstPage();
  do {
    text8();
    text9();
    text10();
  } while( u8g.nextPage() );
  delay(10000);
  clearLCD();
Serial.println("CLEARDATA"); // solo los datos registrados
Serial.println("CLEARSHEET");

```

```

    Serial.println("LABEL, Fecha, Hora, item, T1    (\260C), T2    (\260C), T3
(\260C), T4 (\260C), T5 (\260C), T6 (\260C), Caudal (lmp)");
    Serial.println("RESETTIMER");
}
void loop() { //lectura del caudal
    count =0;
    interrupts();
    delay(1000);
    noInterrupts();
    flowrate=(0.0370799*count);

    if (flowrate >= 0.3) {
        digitalWrite(ledflow, HIGH);
    }
    if (flowrate < 0.3) {
        digitalWrite(ledflow, LOW);
    }
    sensors.requestTemperatures();
    temp1= sensors.getTempC(t11);
    temp2= sensors.getTempC(t22);
    temp3= sensors.getTempC(t33);
    temp4= sensors.getTempC(t44);
    temp5= sensors.getTempC(t55);
    temp6= sensors.getTempC(t66);
    Wire.requestFrom(8, 7);
    do // slave may send less than requested
    {
        char c_1 = Wire.read();
        string = string + c_1;
        string1 = string.substring(0, 3); // L
        string2 = string.substring(4, 6); // D
    } while (Wire.available());
    string="";
    u8g.firstPage();
    do {
        u8g.setFont(u8g_font_helvR08);
        u8g.drawStr( 0, 9, "T1=");
        u8g.setPrintPos(19,9);
        u8g.print(temp1,1);
        u8g.drawStr( 47, 9, "\260C");
        u8g.drawStr( 0, 20, "T2=");
        u8g.setPrintPos(19,20);
        u8g.print(temp2,1);
        u8g.drawStr( 47, 20, "\260C");
        u8g.drawStr( 0, 31, "T3=");
        u8g.setPrintPos(19,31);
        u8g.print(temp3,1);
        u8g.drawStr( 47, 31, "\260C");
        u8g.drawStr( 0, 42, "T4=");
        u8g.setPrintPos(19,42);
        u8g.print(temp4,1);
        u8g.drawStr( 47, 42, "\260C");
        u8g.drawLine(60, 0, 60, 64);
        u8g.drawStr( 0, 53, "Q = ");
        u8g.setPrintPos(19,53);
        u8g.print(flowrate,2);
        u8g.drawStr( 64, 9, "T5=");
        u8g.setPrintPos(83,9);
        u8g.print(temp5,1);

```

```

    u8g.drawStr( 111, 9, "\260C");
    u8g.drawStr( 64, 20, "T6=");
    u8g.setPrintPos(83,20);
    u8g.print(temp6,1);
    u8g.drawStr( 111, 20, "\260C");
    u8g.drawStr( 74, 43, "L");
    u8g.setPrintPos(68,56);
    u8g.print(string2);
    u8g.drawStr( 108, 43, "D");
    u8g.setPrintPos(102,56);
    u8g.print(string1);
    textlpm();
    u8g.drawLine(60, 23,127, 23);
    u8g.drawLine(60, 32, 127, 32);
    u8g.drawLine(60, 63, 127, 63);
    u8g.drawLine(94, 32, 94, 63);
    } while( u8g.nextPage() );
int statlevel=digitalRead(levelpin);
if (statlevel == HIGH) {
    digitalWrite(nivelbajo,HIGH);
    digitalWrite(releResist,HIGH);
}
else if (statlevel == LOW) {
    digitalWrite(nivelbajo,LOW);
    digitalWrite(releResist,LOW);
}
c = c + 1;
item = c;
Serial.print("DATA,DATE,TIME,");
Serial.print(item);
Serial.print(",");
Serial.print(temp1);
Serial.print(",");
Serial.print(temp2);
Serial.print(",");
Serial.print(temp3);
Serial.print(",");
Serial.print(temp4);
Serial.print(",");
Serial.print(temp5);
Serial.print(",");
Serial.print(temp5);
Serial.print(",");
Serial.println(flowrate);
}
void clearLCD(){
    u8g.firstPage();
    do {
        }while(u8g.nextPage());
}
void text8(void) {
    u8g.setFont(u8g_font_timB10);
    u8g.drawStr( 0, 12, "FAC.ING.QUIMICA");
    u8g.drawStr( 8, 26, "Y METALURGIA");
}
void text9(void) {
    u8g.setFont(u8g_font_timB10r);
    u8g.drawStr( 7, 44, "EP.ING.QUIMICA");
}

```

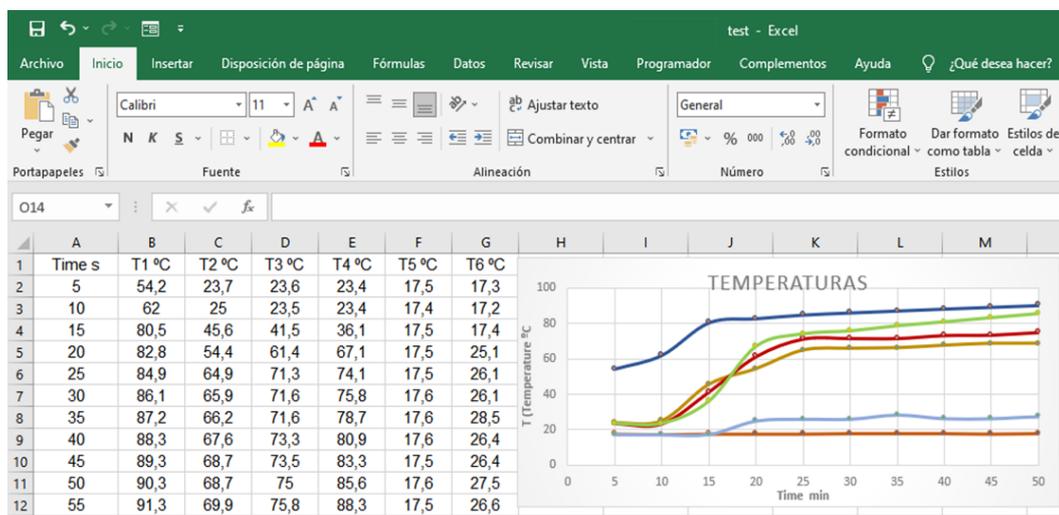
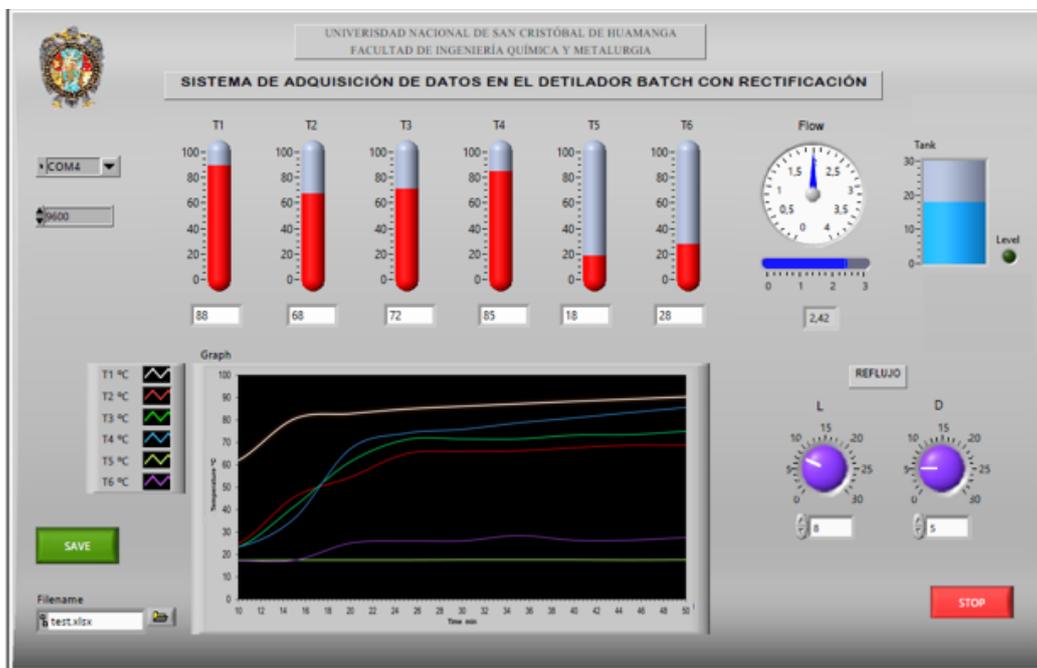
```

void text10(void) {
u8g.setFont(u8g_font_timR08r);
u8g.drawStr( 15, 59,"LAB.TRANSF.MASA");
}
void textlpm(void) {
u8g.setFont(u8g_font_micro);
u8g.drawStr( 46, 53,"LPM");
u8g.drawStr( 75, 31,"REFLUX");
}
void flow () { //funcion de lectura de caudal
count++;
}
}

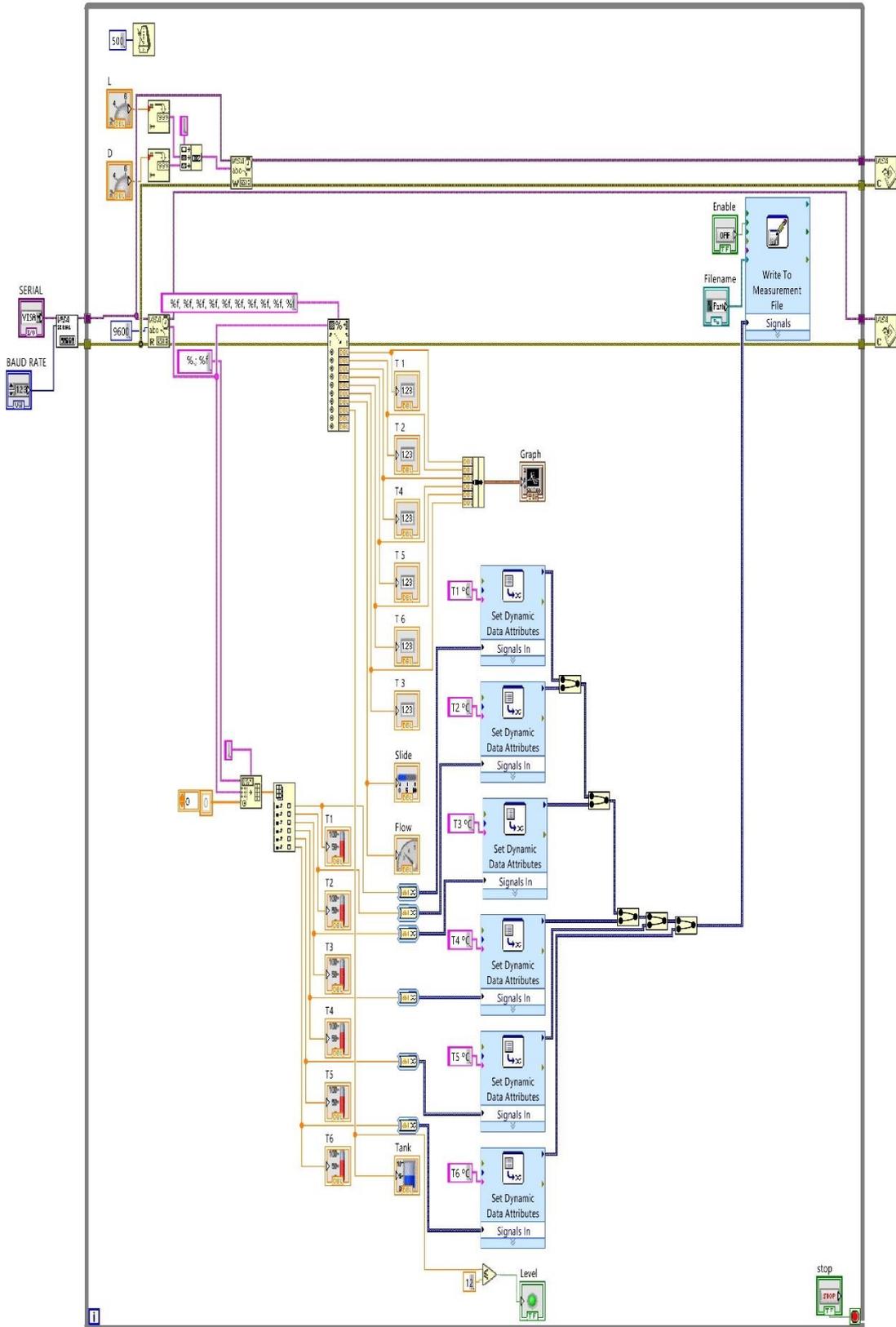
```

(b) En LabVIEW

Front Panel – Excel



Block Diagram



Anexo 7 *Panel fotográfico*

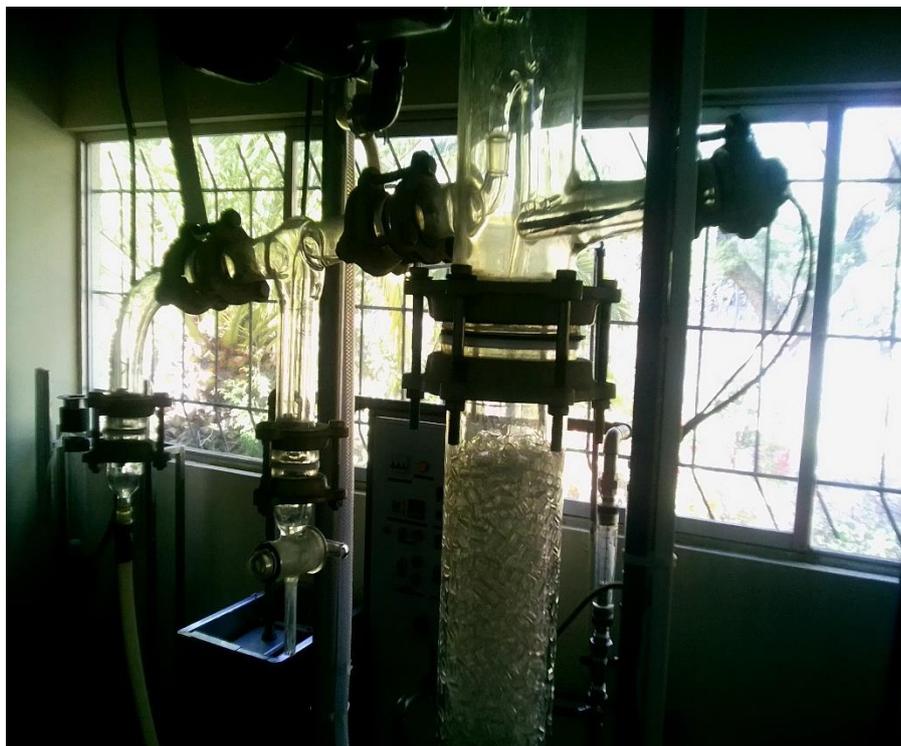
Equipo de destilación batch con rectificación, vista posterior



Columna de relleno (sensores de temperatura T_2 y T_3) y electroimán



Sistema de reflujo y sensor de temperatura T_4



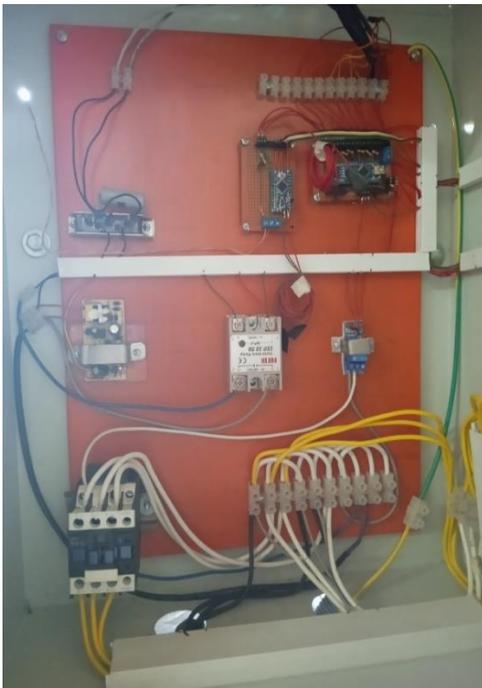
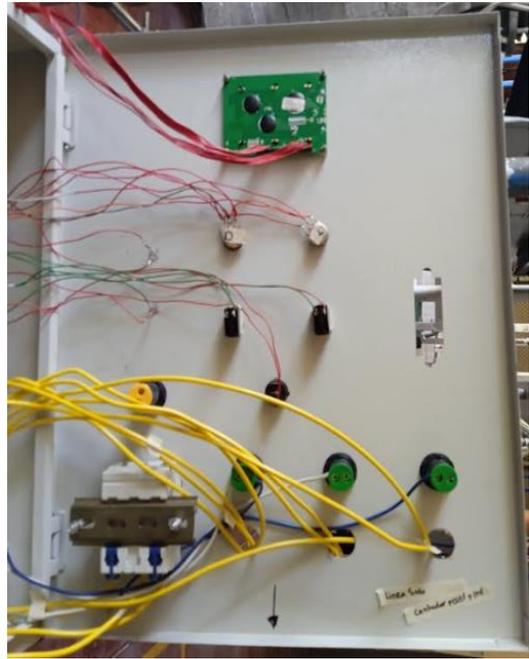
Sensor de caudal y sensor de temperatura T_5 entrada de fluido refrigerante



Elaboración del tablero de conexión



Componentes del tablero de conexión



Equipo de destilación batch con rectificación, vista lateral

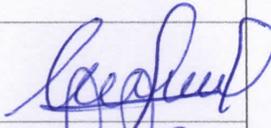
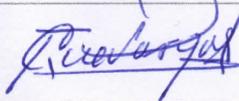


Equipo de destilación batch con rectificación, vista frontal



ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros de Jurado Designado para el Acto Público de Sustentación de Tesis cuyo Título es: "SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL DESTILADOR BATCH CON RECTIFICACIÓN PARA LA MEZCLA ETANOL-AGUA". Presentado por la Bachiller en Ingeniería Química Santosina Adelaida QUINTO ROMÁN el cual fue expuesto el día 19 de enero del 2023, en mérito a la RD N° 014-2023-UNSCH-FIQM/D, damos nuestra conformidad a la tesis mencionado y declaramos a la recurrente apto para que pueda iniciar las gestiones administrativas conducentes a la expedición y entrega de título profesional de Ingeniera Química.

MIEMBROS DE JURADO	DNI	FIRMA
Mg. Cipriano MENDOZA ROJAS	28223453	
Mg. Edgar Gregorio ARONES MEDINA	28223985	
Mg. José Alberto CUEVA VARGAS	18854963	

Ayacucho 25 de enero de 2023



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 001-2023-UNSCH-FIQM/EPIQ

El que suscribe, Directora de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte de la Bach. **Santosina Adelaida QUINTO ROMÁN**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Tesis: Sistema de adquisición de datos en el destilador batch con identificación para la mezcla etanol agua.
Autor : Bach. Santosina Adelaida QUINTO ROMÁN
N° Trabajo : 2007633414
Fecha : 06 de febrero del 2023
Archivo : Tesis

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 11 (**once**) % de **ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 06 de febrero del 2023.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Mg. Tarcila Alcarráz Alfaro
DIRECTORA

Adjunto **Reporte de Índice de Similitud**
cc. archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERA
QUIMICA Av. Independencia S/N –
Ayacucho Telf. 066-312510 Anexo. 152
Correo: ep.quimica@unsch.edu.pe



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Santosina Adelaida Quinto Román
Assignment title: Tesis Quinto
Submission title: Sistema de adquisición de datos en el destilador batch con r...
File name: tesis_RECORTADO_para_TURNITIN.pdf
File size: 5.56M
Page count: 73
Word count: 15,585
Character count: 77,560
Submission date: 06-Feb-2023 09:29AM (UTC-0500)
Submission ID: 2007633414

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

Sistema de adquisición de datos en el destilador batch con
rectificación para la mezcla etanol agua

PRESENTADO POR:

Bach. Santosina Adelaida QUINTO ROMÁN

Para optar el título profesional de:

INGENIERA QUÍMICA

ASESOR:

Dr. Alfredo ARIAS JARA

AYACUCHO – PERÚ

2022

Sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol agua

por Santosina Adelaida Quinto Román

Fecha de entrega: 06-feb-2023 09:29a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2007633414

Nombre del archivo: tesis_RECORTADO_para_TURNITIN.pdf (5.56M)

Total de palabras: 15585

Total de caracteres: 77560

Sistema de adquisición de datos en el destilador batch con rectificación para la mezcla etanol agua

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	docslide.us Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	www.scielo.sa.cr Fuente de Internet	1%
5	naylampmechatronics.com Fuente de Internet	1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	idoc.pub Fuente de Internet	1%
8	www.mecamex.net Fuente de Internet	<1%
9	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	

<1 %

10

es.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

11

riunet.upv.es

Fuente de Internet

<1 %

12

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

13

Submitted to Universidad Anahuac México
Sur

Trabajo del estudiante

<1 %

14

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

16

repositorio.ucsg.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

17

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

18

doku.pub

Fuente de Internet

<1 %

19

documat.unirioja.es

Fuente de Internet

<1 %

20

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

21

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

22

riuma.uma.es

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo