



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Secretaría de Educación Pública

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Veracruz

Automatización de Columnas de un Deshidratador de Etanol a Base de Zeolitas en una Planta Piloto de Bioetanol Utilizando PLC

Tesis de Grado

Qué para Obtener el Grado de Maestro en Eficiencia Energética y Energías Renovables

Presenta:

Jorge Alejandro Campos Castro

Director de Tesis:

Dr. Javier Gómez Rodríguez

Co-director:

Dr. Guillermo Efrén

Ovando Chacón

H. Veracruz, Ver.

Agosto 2024

Abelardo Rodríguez León



Dedicatoria

La dedicatoria del presente trabajo está directamente dirigido a mi amada madre, quien es la responsable completamente de la persona que soy el día de hoy, quien me apoya y me instruye con amor incondicional hacia un mejor futuro, mi modelo a seguir que a pesar de las adversidades que nos ha puesto la vida nos ha sacado adelante a mi hermano y a mí, por lo cual es mi inspiración para ser una mejor persona en todos los sentidos.

A mi abuelita, que es mi segunda madre y que me ha cuidado en la enfermedad, que siempre me brida sus consejos y sus experiencias para así yo poder estar preparado a cualquier situación que se me presente en la vida y siempre me ha apoyado en cualquier decisión que tomo por más importante o tonto que sea.

A mi hermano Kevin, que me ha impulsado crecer como persona para poder ser un ejemplo para él y que en un futuro me supere en todos los aspectos y así poder enorgullecer a nuestra madre y abuelita.

A mi pareja Viviana, quien desde el día uno me anima a seguir mis metas y mis sueños, es mi pilar y mi compañera en los momentos felices y tristes, gracias a su apoyo me sigo levantando día a día.

A mis amistades, Soto, que desde la universidad hemos estado creciendo cada quien en sus metas, pero apoyándonos mutuamente, Paola y Svetlana, que se han convertido en mi familia después de tanto tiempo y han sido testigos de cada suceso de mi vida y me han brindado su apoyo, Moisés, por ser un buen amigo y ser paciente con cada duda que con gusto me resolvía, a mis amigos de la preparatoria, que me ayudaron a desconectarme del mundo y disfrutar cada

momento como si fuera el último.

Gracias a todos por formar parte de mi vida y de este proyecto, directa o indirectamente, gracias a todos.

Agradecimientos

El presente trabajo fue posible por el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), ya que gracias al apoyo de la beca proporcionada durante el periodo de la maestría hizo posible la dedicación de tiempo completo al desarrollo del presente proyecto.

También agradecer al Dr. Javier Gómez Rodríguez, por hacer posible la realización de este proyecto mediante sus conocimientos, su tiempo y la gestión de recursos. Así como también el comité que lo conforman el Dr. Guillermo Efrén Ovando Chacón, Dr. Abelardo Rodríguez León y el Dr. Mario Díaz González, quienes por medio de sus observaciones nutrieron el desarrollo del proyecto.

Por último, pero no menos importante a todos los maestros con los que tuve la oportunidad de tomar clases a lo largo de la maestría, así como también a la Dra. Cinthya Alejandra Sosa Villalobos y al Dr. Martín Hernández Ordóñez por el apoyo en las dudas e inquietudes en los trámites necesarios a lo largo del proceso.

Resumen

Dentro del Instituto Tecnológico de Veracruz se encuentra la Planta Piloto de Bioetanol de segunda generación, en la cual se lleva a cabo la producción de bioetanol que sirve como biocombustible al aumentar el octanaje de las gasolinas para mejorar la eficiencia de la combustión y así reducir la emisión de los gases tóxicos y contaminantes a la atmosfera. El proceso de obtención del biocombustible consta de distintas etapas; molienda, fermentación, destilación, deshidratación, entre otras.

La etapa de deshidratación cuenta con un equipo que consta de dos columnas de deshidratación a base de zeolitas naturales mexicanas. Este equipo se encuentra con instrumentación limitada y es operado manualmente. El objetivo del trabajo es optimizar la obtención de alcohol anhidro mediante la automatización, buscando que el proceso sea seguro, interactivo y fácil de operar, con un control de la supervisión de los parámetros de operación. La metodología se basa en la identificación de los lazos de control de temperatura y presión, los cuales dan la base para la automatización del equipo de deshidratación y transforman un proceso no instrumentado a una interfaz amigable con el operador. Con la automatización se logro reducir en un 30 % el tiempo de deshidratado.

Abstract

Within the Technological Institute of Veracruz is the second generation Bioethanol Pilot Plant, in which the production of bioethanol is carried out that serves as a biofuel by increasing the octane rating of gasoline to improve combustion efficiency and thus reduce the emission of toxic gases and pollutants into the atmosphere. The process of obtaining biofuel consists of different stages; grinding, fermentation, distillation, dehydration, among others.

The dehydration stage has equipment that consists of two dehydration columns based on natural Mexican zeolites. This equipment has limited instrumentation and is operated manually. The objective of this work is to optimize the obtaining of anhydrous alcohol through automation, seeking to make the process safe, interactive and easy to operate, with supervisory control of the operating parameters. The methodology used for this work is based on the identification of temperature and pressure control loops, which provide the basis for the automation of the dehydration equipment and transferring an uninstrumented process to an operator-friendly interface.

Índice general

Dedicatoria	i
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	viii
Indice de Figuras	x
Indice de Tablas	xi
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.1.1. Pregunta de Investigación	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. General	3
1.2.2. Específicos	3
1.3. Justificación	4
1.4. Hipótesis	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Energías Renovables	6
2.1.1. Energía Solar	6
2.1.2. Energía Eólica	7
2.1.3. Energía Hidroeléctrica	8
2.1.4. Biomasa y Biogás	8

2.1.5. Energía Geotérmica	8
2.2. Bioetanol	9
2.2.1. Bioetanol como fuente de energía renovable	9
2.2.2. Bioetanol y su papel en el sector del transporte	10
2.3. Eficiencia Energética	10
2.4. Deshidratación de Etanol	11
2.4.1. Importancia de la Deshidratación de Etanol	12
2.4.2. Tipos de Deshidratación de Etanol	13
2.4.3. Aspectos clave en la Etapa de Deshidratación	14
2.5. Sistemas de Control	16
2.6. Automatización	17
2.7. Actuadores	18
2.7.1. Actuadores eléctricos	18
2.7.2. Actuadores hidráulicos	18
2.7.3. Actuadores neumáticos	19
2.8. Sensores	19
2.8.1. Sensores de temperatura	20
2.8.2. Sensores de presión	21
2.8.3. Sensores ópticos	21
2.9. Controladores Lógicos Programables	21
3. Estado del Arte	24
3.1. Procesos de Deshidratación	24
3.2. Procesos Multivariables en la Industria	25
3.3. Deshidratación mediante tamices moleculares	27
3.4. Zeolitas 3A	27
3.5. Regeneración de Zeolitas mediante TSA y PSA	28
3.6. Método PSA	29
3.7. Automatización del Proceso de Deshidratado	30
4. Desarrollo de la Metodología	31
4.1. Estructura de la Metodología	31

4.2. Definición de los lazos de control de las columnas deshidratadoras.	32
4.3. Selección del controlador lógico programable.	33
4.4. Programación la lógica de control e interfaz grafica.	34
4.5. Simulación el programa y la interfaz grafica HMI.	35
4.6. Implementación el sistema en las columnas deshidratadoras en la planta.	36
5. Aplicación de la Metodología	38
5.1. Definición de los lazos de control de las columnas deshidratadoras.	38
5.2. Selección del controlador lógico programable.	42
5.3. Programación la lógica de control e interfaz grafica.	44
5.4. Simulación el programa y la interfaz grafica HMI.	47
5.5. Implementación el sistema en las columnas deshidratadoras en la planta.	48
6. Análisis de Resultados	51
Conclusiones	56
Referencias	56

Índice de figuras

2.1. Parque Solar (Mariano, 2021)	7
2.2. Parque Eólico La Venta II (Viakable, 2022)	7
2.3. Planta de Bioetanol 2G ITVer	9
2.4. Proceso de Obtención de Biocombustible	11
2.5. Rendimiento en Técnicas de Deshidratación	14
2.6. Zeolita Natural Mexicana	15
2.7. Ejemplo Lazo Cerrado(Mandado et al., 2009)	16
2.8. Ejemplo Automatización de Destilador en Labview (Martinez, 2017)	17
2.9. Actuador para Válvula de Mariposa	19
2.10. Sensor de Temperatura RTD PT100	20
2.11. Diferentes PLC en la Industria (AUTYCOM, 2024)	23
3.1. Diagrama esquemático de la deshidratación del etanol con tamices moleculares (Uyazán et al., 2004)	25
3.2. Diagrama de control de la destilación del etanol (Oliveros, 2011)	26
3.3. Comparación de los sistemas de deshidratación (Pérez Bermúdez and Garri- do Carralero, 2011)	27
3.4. Simulación de perfiles de temperatura en ciclos iniciales de adsorción - desorción (Kupiec et al., 2014)	28
3.5. Diagrama de flujo de control del proceso de regeneración (Simo et al., 2009)	29
3.6. Diagrama de flujo de control del proceso de regeneración (Gutiérrez-González et al., 2020)	30
4.1. Estructura de la Metodología	31
4.2. Pasos a seguir para comunicación PLC-HMI	34

4.3. Ejemplo de simulación en PLCSIM (Ejemplo generado por TiaPortal)	35
5.1. Diagrama inicial de las columnas deshidratadoras de etanol	40
5.2. Diagrama propuesto de las columnas deshidratadoras de etanol	41
5.3. Contacto 1 o Segmento 1	45
5.4. Contacto 2 o Segmento 2	46
5.5. Contacto 3 o Segmento 3	46
5.6. Comunicación Exitosa entre PLC y HMI	47
5.7. Portada de Interfaz Grafica HMI	47
5.8. Indicador de Temperatura METRON	48
5.9. Sensor de Temperatura y Termopozo	49
5.10. Válvula de Mariposa Neumática BRAY CONTROLS	49
5.11. Válvula Solenoide NAMUR	50
5.12. Sensor de Temperatura y Termopozo	50
6.1. Columnas antes y después de la implementación	51
6.2. Pagina principal del HMI	52
6.3. Plantilla de control del HMI	53
6.4. Grafica de recolección de concentración de alcohol	54

Índice de Tablas

3.1. Estado del Arte	30
5.1. Parámetros de Operación (Leo Avelino, 2019)	38
5.2. Comparación de modelos PLC SIEMENS S7-1200 1212C	43
5.3. Comparación de modelos HMI SIEMENS KTP	43
6.1. Tiempos de Deshidratado Manual (Leo Avelino, 2019)	55
6.2. Tiempos de Deshidratado Automatizado	55

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

La explotación indiscriminada de los combustibles fósiles ha generado el deterioro del medio ambiente y la escasez de este recurso a escala mundial, por lo cual se ha llegado a la necesidad de explorar diferentes alternativas, ya que el 90 % de la energía que se consume en el mundo es obtenida a través de fuentes no renovables (Castro, 2011)

El agotamiento de los combustibles fósiles debido a la dependencia que existe frente a los hábitos de consumo energético junto con el aumento de la población mundial, se calcula el agotamiento del petróleo y gas natural a lo largo de este siglo, en consecuencia, a esto si no se encuentran otros medios energéticos es probable que la industria se enfoque en el carbón, ya que se cuentan con reservas centenarias, en consecuencia, se elevarían los niveles de CO_2 en la atmósfera.

En México, solo 9.5 % de la oferta total de energía es renovable, mientras que en Brasil 38.7 % de su energía es de fuentes renovables. No obstante, cabe aclarar que la poca energía renovable que se produce en México, a diferencia de Brasil, es fundamentalmente hidráulica, solar y eólica, y no se utilizan hasta el momento la producción comercial de biocombustibles a partir de cultivos agrícolas o forestales.

El etanol es un biocombustible, ya que se deriva de la biomasa vegetal y se emplea para la generación de energía térmica (Patrouilleau et al., 2006) es por eso que también se le conoce como Bioetanol. Los resultados que se esperan con el etanol es aumentar el octanaje de las gasolinas para mejorar la eficiencia de la combustión y así reducir la emisión de los gases tóxicos y contaminantes a la atmósfera (Uyazán et al., 2004)

El uso de etanol como combustible ha ganado territorio dentro de las fuentes energéticas alternativas, ya que proviene de una materia prima biológica renovable, no corrosivo, no tóxico y mejora el rendimiento de las gasolinas tradicionales (Rachmayanti et al., 2019) La planta piloto de Bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz se inauguró en el 2015, en la actualidad no se ha aplicado algún método de automatización a las torres de deshidratación que son primordiales para la creación del etanol y en consecuencia deteniendo los avances y estudios del mismo.

La automatización de las torres es necesaria, ya que las variables del proceso de adsorción como lo es la temperatura, nivel y flujo, hasta el momento siguen siendo controladas por un operador por el cual siguen presentes los errores por factor humano, con todo lo antes mencionado se aspira a realizar el control de las variables anteriores mediante un controlador lógico programable PLC.

1.1.1. Pregunta de Investigación

¿Qué porcentaje de eficiencia energética se está generando entre la configuración actual y el modelo automatizado?

¿Cuánta reducción de tiempo de deshidratado existe entre en modelo automatizado y el modelo manual?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Automatizar el control de las columnas deshidratadoras a nivel de planta piloto de Bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz mediante hardware y software implementando un controlador lógico programable PLC

1.2.2. Específicos

- Establecer los parámetros de operación de las columnas deshidratadoras para la composición de los lazos de control, entradas y salidas del proceso.
- Implementar y programar un panel de control para el manejo y monitoreo de variables del proceso de deshidratación mediante un controlador lógico programable.
- Ensamblar y poner en marcha el equipo, así como su calibración para un proceso óptimo.

1.3. Justificación

El presente proyecto pretende implementar condiciones óptimas de operación, que permita alcanzar una automatización superior; ya que la producción de etanol es esencial en esta etapa de biocombustibles para frenar o reducir el uso de los combustibles fósiles, pero para llegar a este objetivo se trabajara de la mano con la automatización para lograr los estándares más altos de calidad en y eficiencia en la producción del etanol anhidro.

El desarrollo del presente trabajo surge de la necesidad de optimizar el proceso de deshidratación de etanol en la planta de Bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz, para optimizar el consumo energético, reducir los tiempos de deshidratación y llevar un control de los datos de entrada y salida. De esta manera, se observará una mayor eficiencia del proceso de deshidratado. Para la automatización del sistema de deshidratado se necesitará un control de las variables que este sistema maneja como lo es la temperatura, presión, concentración, pureza del vapor, etc. Se necesita contar con sensores, válvulas programables, así como también un PLC donde se tenga control de todos procesos que se conllevan, se requiere conocimiento amplio sobre el procedimiento químico para así interpretar los resultados obtenidos y generar los objetivos esperados. Abordar este proyecto tiene un impacto positivo en la planta de Bioetanol, ya que se puede contar un proceso químico en un ambiente controlado donde se obtiene una mayor eficiencia y rapidez en el proceso de la obtención de alcohol anhidro, también lograr a largo plazo una mayor vida útil de las columnas, ya que al estar automatizado se disminuye el desgaste por error humano y solamente influye el desgaste por uso productivo.

Al eliminar el factor humano del proceso, se cuenta con una mayor seguridad en el desarrollo del aprendizaje de este proceso ecológico, ya que este proyecto es aplicado a una institución educativa donde se promueve la energía limpia y la eficiencia energética, y se inculca en la comunidad estudiantil una cultura de aplicación de conocimientos de su ingeniería a las energías renovables.

1.4. Hipótesis

El Deshidratador de la Planta piloto de Bioetanol en el Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz está actualmente con el control de sus variables tales como porcentaje de etanol, flujo másico, temperatura y presión mediante el factor humano.

Mediante la aplicación de controles automatizados se optimizarán los lazos de control de temperatura y presión con el que subsecuentemente se obtendrá una reducción del tiempo de deshidratado y un control de las variables de temperatura de la mezcla y presión del sistema en tiempo real, el cual se estudiará y analizará para conocer las adaptaciones necesarias para lograr una eficiencia mayor en dicho proceso el cual se realizará dentro del periodo agosto 2022 a junio 2024.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Energías Renovables

En la búsqueda de soluciones sostenibles para las necesidades energéticas, las energías renovables se han convertido en protagonistas indiscutibles en la actualidad. Estas fuentes de energía limpia y abundante están ganando terreno rápidamente, y su impacto positivo en el medio ambiente y la sociedad es cada vez más evidente.

2.1.1. Energía Solar

La energía solar ha experimentado un crecimiento impresionante en los últimos años. Según el informe de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la capacidad global de energía solar fotovoltaica ha aumentado en un 600 % desde 2010. Esta fuente de energía renovable se basa en la captura de la radiación solar y su conversión en electricidad mediante paneles solares. Como señala el Dr. Martin Green, científico líder en investigación solar, "la energía solar tiene el potencial de proporcionar una fuente de energía limpia y sostenible para el mundo, permitiendo la independencia energética y reduciendo significativamente las emisiones de carbono" (Green, 2018).



Figura 2.1: Parque Solar (Mariano, 2021)

2.1.2. Energía Eólica

La energía eólica es otra protagonista clave en el panorama de las energías renovables. Según el Global Wind Energy Council (GWEC), la capacidad mundial de energía eólica ha aumentado en un 60 % en los últimos cinco años. Los aerogeneradores convierten la energía cinética del viento en electricidad, y su implementación se ha extendido tanto en parques eólicos terrestres como en instalaciones marinas. La energía eólica es una fuente renovable que puede generar electricidad de manera constante y contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Beltran, 2022).



Figura 2.2: Parque Eólico La Venta II (Viakable, 2022)

2.1.3. Energía Hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica, obtenida a partir del aprovechamiento del flujo o la caída del agua, es una de las fuentes de energía renovable más establecidas y ampliamente utilizadas. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), la energía hidroeléctrica representa aproximadamente el 16 % de la generación global de electricidad. Además, los avances tecnológicos, como las turbinas de baja cabeza y las microcentrales hidroeléctricas, están ampliando su potencial. El Dr. James Smith, experto en energía hidroeléctrica, "la energía hidroeléctrica es una fuente confiable y escalable que no emite gases de efecto invernadero, y puede jugar un papel fundamental en la transición hacia un sistema energético más sostenible" (Smith, 2021).

2.1.4. Biomasa y Biogás

La biomasa y el biogás son formas de energía renovable que se obtienen a partir de la materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales o de origen animal. La biomasa puede ser utilizada directamente como combustible o convertida en biogás a través de procesos de digestión anaeróbica. Estas tecnologías están ganando popularidad debido a su capacidad para aprovechar los desechos y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Según el estudio realizado por el Instituto de Investigación en Biomasa y Energía Renovable (IBER), "la biomasa y el biogás tienen un enorme potencial como fuentes de energía renovable, ya que no solo ayudan a reducir la contaminación y los residuos, sino que también contribuyen a la seguridad energética y a la generación de empleo local" (IBER, 2023).

2.1.5. Energía Geotérmica

La energía geotérmica se basa en la extracción del calor almacenado en el interior de la Tierra para generar electricidad o proporcionar calefacción. Esta fuente de energía renovable se encuentra disponible de forma constante y tiene un bajo impacto ambiental. Según el informe de la Agencia Internacional de Energía (IEA), la capacidad de energía geotérmica instalada a nivel mundial ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. La energía geotérmica es una fuente abundante y confiable que puede ayudar a diversificar la matriz energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y proporcionar una solución sostenible para la generación de electricidad y calefacción (Martínez, 2022).

2.2. Bioetanol

En el contexto de la transición hacia una matriz energética más sostenible, el bioetanol ha ganado protagonismo como una alternativa prometedora. Este biocombustible, derivado de fuentes renovables como los cultivos de biomasa, se ha convertido en una opción atractiva debido a su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.



Figura 2.3: Planta de Bioetanol 2G ITVer

2.2.1. Bioetanol como fuente de energía renovable

El bioetanol se produce a través de la fermentación de azúcares y almidones presentes en cultivos de biomasa, como el maíz, la caña de azúcar o los cereales. Esta fuente de energía renovable se ha consolidado como una opción atractiva debido a su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles. Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "el bioetanol ofrece la oportunidad de descarbonizar el sector del transporte y contribuir a la mitigación del cambio climático" (FAO, 2022).

2.2.2. Bioetanol y su papel en el sector del transporte

El sector del transporte es responsable de una gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. El bioetanol se ha convertido en una alternativa viable para reducir estas emisiones, ya que puede ser utilizado como aditivo en combustibles convencionales o como combustible puro en vehículos específicos. El estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) menciona que, "la incorporación de bioetanol en los combustibles para el transporte puede ayudar a reducir las emisiones de carbono en el sector, mejorando así la calidad del aire y contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible" (IRENA, 2021).

2.3. Eficiencia Energética

La eficiencia energética se ha convertido en una preocupación cada vez más relevante en la actualidad. En un mundo donde los recursos son limitados y el cambio climático es una realidad innegable, es crucial buscar formas de optimizar consumo de energía. La Agencia Internacional de Energía (IEA) afirma que, "la eficiencia energética es una herramienta fundamental para abordar los desafíos energéticos y ambientales, ya que nos permite reducir el consumo de energía sin comprometer nuestro nivel de vida" (IEA, 2022).

La implementación de medidas eficientes en los sectores residencial, comercial e industrial puede tener un impacto significativo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y en el ahorro de costos. Según el informe de la Comisión Europea, "la mejora de la eficiencia energética en los edificios puede conducir a ahorros de hasta un 30 % en el consumo de energía, al tiempo que mejora la comodidad y la calidad de vida de los ocupantes" (Europea, 2023).

La eficiencia energética no se limita solo al uso de energía en los edificios. También implica optimizar los procesos industriales, la producción y el transporte de energía. La adopción de tecnologías más eficientes, como motores eléctricos de alta eficiencia y sistemas de iluminación LED, puede contribuir a un uso más inteligente de la energía.

La eficiencia energética es un factor clave en la búsqueda de una transición hacia un futuro más sostenible y bajo en carbono. Al optimizar el consumo de energía a través de medidas eficientes, se reducen las emisiones, se ahorran costos y promover la utilización de fuentes de energía más limpias y renovables. Como sociedad, se debe tomar conciencia de la importancia de la eficiencia energética y promover su implementación en todos los aspectos de la vida cotidiana.

2.4. Deshidratación de Etanol

El bioetanol, un biocombustible renovable y sostenible, se ha convertido en una alternativa prometedora a los combustibles fósiles. La deshidratación del etanol es un proceso esencial en la producción de bioetanol, que tiene como objetivo eliminar el agua presente en la mezcla para aumentar la concentración de alcohol y mejorar su calidad y aplicabilidad en diversos sectores. Este proceso juega un papel crucial en la eficiencia, rentabilidad y calidad del bioetanol, y ha experimentado avances significativos en los últimos años.

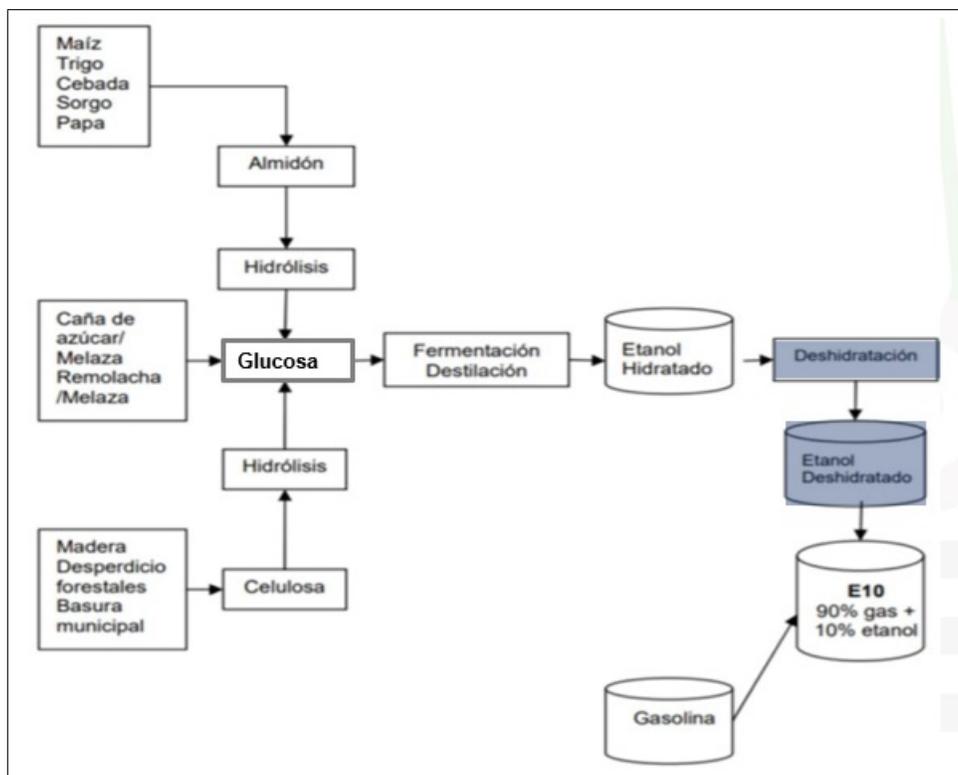


Figura 2.4: Proceso de Obtención de Biocombustible

2.4.1. Importancia de la Deshidratación de Etanol

La importancia de la deshidratación del etanol se puede destacar en los siguientes aspectos:

- **Aumento del poder calorífico:** Al eliminar el agua, se incrementa la concentración de etanol en la mezcla. Un mayor contenido de alcohol en el bioetanol mejora su poder calorífico, lo que se traduce en un mayor rendimiento energético al utilizarse como combustible en motores y sistemas de generación de energía.
- **Mejora de la eficiencia y rendimiento del bioetanol:** La deshidratación del etanol permite obtener un producto final más concentrado y homogéneo. Esto facilita su almacenamiento, transporte y aplicación en diferentes sectores, como el transporte, la industria química y la generación de energía. Un bioetanol deshidratado de calidad garantiza un rendimiento óptimo en los sistemas y procesos en los que se utiliza.
- **Facilita el cumplimiento de regulaciones y estándares:** En muchos países, existen regulaciones y estándares para la calidad y contenido de agua en el bioetanol utilizado como combustible. La deshidratación es esencial para cumplir con estos requisitos, asegurando que el producto final cumpla con las especificaciones y normativas establecidas.
- **Optimización de la producción y rentabilidad:** Al eliminar el agua de la mezcla de etanol, se reduce la cantidad de subproductos y residuos generados en el proceso de producción. Esto conlleva a una mejora en la eficiencia y rentabilidad de la planta de producción de bioetanol.
- **Contribución a la sostenibilidad y reducción de emisiones:** El uso de bioetanol como combustible en lugar de los combustibles fósiles contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático. La deshidratación del etanol, al mejorar su calidad y aplicabilidad, promueve un mayor uso y adopción de este biocombustible renovable.

2.4.2. Tipos de Deshidratación de Etanol

Existen varios métodos y tecnologías utilizados en la deshidratación del etanol, cada uno con sus ventajas y limitaciones. Algunos de los métodos comúnmente empleados son:

- **Destilación azeotrópica:** La destilación azeotrópica es un método ampliamente utilizado en la deshidratación del etanol. Este proceso implica la formación de un azeótropo, una mezcla de etanol y un agente deshidratante, como el benceno o el ciclohexano, que permite la separación del agua del etanol. La destilación azeotrópica ha demostrado ser eficiente para la producción de etanol deshidratado a nivel industrial (Valdés, 2016).
- **Membranas de pervaporación:** La pervaporación es una técnica de separación en la que se utiliza una membrana selectiva para eliminar el agua del etanol. Esta tecnología se basa en la capacidad de ciertas membranas para permitir el paso selectivo del vapor de agua, separándolo del etanol. Las membranas de pervaporación han mostrado ser eficientes en la deshidratación del etanol, ofreciendo ventajas en términos de bajo consumo energético y alta selectividad (Silva et al., 2018).
- **Adsorción con tamices moleculares:** La adsorción con tamices moleculares es otro método utilizado en la deshidratación del etanol. Los tamices moleculares, como el tamiz molecular 3A o 4A, son materiales porosos que pueden adsorber selectivamente el agua, permitiendo la obtención de etanol deshidratado. Esta técnica ha sido ampliamente investigada y utilizada en la industria para producir etanol con alta pureza (Huang et al., 2020).

Es importante destacar que la elección del método de deshidratación del etanol depende de varios factores, como la escala de producción, los requisitos de calidad y los costos asociados. Además, se continúan investigando y desarrollando nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y la selectividad en la deshidratación del etanol.

Referencia	Tipo de Proceso	MJ/kg de etanol
Avilés-Martínez <i>et al.</i> , 2011	Destilación azeotrópica con Glicerol	2.66
Fu, 2004	Destilación extractiva con acetato de potasio y Etilenglicol	3.58
Pinto <i>et al.</i> , 2000	Destilación extractiva con cloruro de calcio	5.02
Zhu <i>et al.</i> , 2016	Destilación extractiva con [EMIM][BF ₄]	2.27
Li <i>et al.</i> , 2015	Destilación extractiva con gasolina	3.88
Novita <i>et al.</i> , 2018	Pervaporación	1.66
Chen <i>et al.</i> 2014	Tamices Moleculares	1.291

Figura 2.5: Rendimiento en Técnicas de Deshidratación

2.4.3. Aspectos clave en la Etapa de Deshidratación

Selección del método de deshidratación: La elección del método adecuado de deshidratación del etanol es fundamental para garantizar la eficiencia y la calidad del producto final (Valdés, 2016). Los métodos comúnmente utilizados incluyen la destilación azeotrópica, la pervaporación y la adsorción con tamices moleculares (Huang et al., 2020). La elección del método se basa en consideraciones como la escala de producción, los requisitos de calidad y los costos asociados.

- **Pretratamiento del etanol:** Antes de iniciar el proceso de deshidratación, es común realizar un pretratamiento del etanol para eliminar impurezas y componentes no deseados que podrían interferir en el proceso. Esto puede incluir la eliminación de compuestos volátiles y la purificación del etanol mediante técnicas como la destilación fraccionada (Valdés, 2016).
- **Selección del agente deshidratante:** En algunos métodos de deshidratación, se utiliza un agente deshidratante para facilitar la separación del agua del etanol. La elección del agente deshidratante adecuado es crucial para lograr una alta selectividad y eficiencia en la deshidratación. Agentes deshidratantes comunes incluyen el benceno, el ciclohexano y los tamices moleculares (Huang et al., 2020).

- **Control de temperatura y presión:** El control de la temperatura y la presión durante el proceso de deshidratación es esencial para obtener los resultados deseados. La temperatura y la presión óptimas pueden variar según el método utilizado y las características específicas de la mezcla de etanol. Un control preciso de estos parámetros contribuye a mejorar la selectividad y la eficiencia del proceso (Silva et al., 2018).
- **Monitoreo y control de la humedad residual:** Es importante realizar un monitoreo continuo de la humedad residual en el etanol deshidratado para garantizar que cumpla con los estándares y requisitos establecidos. Esto se puede lograr utilizando técnicas como la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) o la titulación Karl Fischer (Huang et al., 2020).

La deshidratación del etanol es un proceso complejo que requiere un enfoque cuidadoso y atención a los detalles. La selección del método adecuado, el pretratamiento del etanol, la elección del agente deshidratante y el control de temperatura, presión y humedad residual son aspectos clave que influyen en la eficiencia y calidad del producto final.



Figura 2.6: Zeolita Natural Mexicana

2.5. Sistemas de Control

Los sistemas de control son herramientas fundamentales en una amplia gama de disciplinas, desde la ingeniería hasta la biología y la economía. Estos sistemas permiten regular y mantener las variables de interés dentro de rangos deseados, mejorando la eficiencia, la estabilidad y el rendimiento en diversos procesos.

Los sistemas de control se refieren a la interacción entre un conjunto de componentes o elementos para regular el comportamiento de un sistema físico o abstracto. Estos componentes pueden incluir sensores, actuadores, controladores y algoritmos de procesamiento.

Existen diversos tipos de sistemas de control, entre los cuales destacan los sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado. Los sistemas de lazo abierto operan sin realimentación, mientras que los sistemas de lazo cerrado utilizan la información de retroalimentación para ajustar y corregir el comportamiento del sistema.

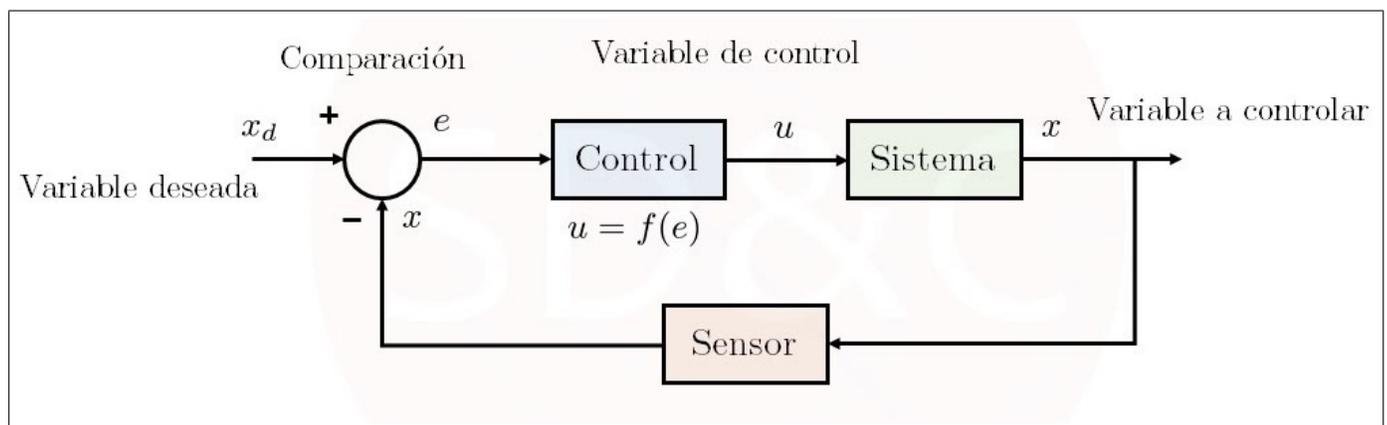


Figura 2.7: Ejemplo Lazo Cerrado(Mandado et al., 2009)

2.6. Automatización

En la actualidad, la automatización se ha convertido en una tendencia dominante en diversos sectores y ha transformado radicalmente la forma en que se llevan a cabo las tareas y los procesos. Mediante la aplicación de tecnologías avanzadas, como la robótica, el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, la automatización está revolucionando la productividad, la eficiencia y la calidad en diferentes industrias.

La automatización ha revolucionado la industria manufacturera al introducir sistemas de producción altamente eficientes y flexibles. Mediante el uso de robots industriales, sistemas de visión por computadora y algoritmos de control avanzados, se ha logrado una mayor velocidad de producción, una reducción de errores y una optimización del uso de recursos (Gökçe and Arda, 2017).

La automatización se ha convertido en una fuerza impulsora en la actualidad, revolucionando diversos sectores con avances en robótica, aprendizaje automático e inteligencia artificial. Sus aplicaciones abarcan desde la industria manufacturera hasta la atención médica y los servicios financieros. Aunque la automatización ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia y calidad, también plantea desafíos y consideraciones éticas que deben abordarse. En última instancia, el equilibrio entre la tecnología automatizada y la participación humana será crucial para aprovechar al máximo sus beneficios en beneficio de la sociedad en su conjunto.

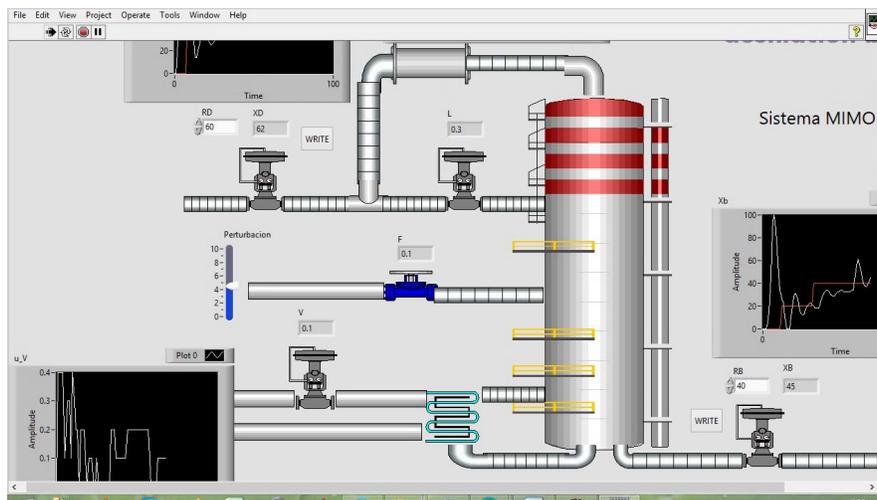


Figura 2.8: Ejemplo Automatización de Destilador en Labview (Martinez, 2017)

2.7. Actuadores

Los actuadores son componentes clave en los sistemas de control, ya que son responsables de convertir señales de control en acciones físicas. Su función es generar movimiento, fuerza o cualquier tipo de respuesta mecánica en un sistema controlado.

Los actuadores desempeñan un papel fundamental en los sistemas de control al permitir la interacción y el control sobre los procesos y los dispositivos físicos. Al recibir señales de control provenientes de los controladores, los actuadores convierten estas señales en movimientos o acciones mecánicas para lograr los objetivos deseados. Su precisión y capacidad de respuesta influyen directamente en el rendimiento y la eficiencia de los sistemas de control.

Los actuadores desempeñan un papel crucial en los sistemas de control al convertir señales de control en acciones físicas. Su correcto funcionamiento y precisión son fundamentales para el rendimiento y la eficiencia de los sistemas de control en diversas aplicaciones industriales y comerciales.

Los actuadores eléctricos, hidráulicos y neumáticos son tecnologías ampliamente utilizadas, cada una con características y ventajas específicas. La elección del tipo de actuador depende de los requisitos de la aplicación y las necesidades de movimiento, fuerza y control.

2.7.1. Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos convierten señales eléctricas en movimientos mecánicos. Entre las tecnologías comunes se encuentran los motores de corriente continua (CC) y los motores paso a paso. Estos actuadores ofrecen un control preciso del movimiento y son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales, robótica y automatización (Hughes, 2016).

2.7.2. Actuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos utilizan líquidos incompresibles, como aceite o agua, para generar fuerza y movimiento. Mediante bombas, válvulas y cilindros hidráulicos, los actuadores

hidráulicos proporcionan una alta potencia y capacidad de carga, siendo ideales para aplicaciones que requieren fuerza y control de alta precisión, como maquinaria pesada y sistemas de dirección en vehículos (Lindeburg, 2012).

2.7.3. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos utilizan aire comprimido para generar movimiento y fuerza. Los cilindros neumáticos y las válvulas de control permiten el accionamiento rápido y confiable en aplicaciones como sistemas de transporte, robots industriales y maquinaria automatizada. Los actuadores neumáticos son conocidos por su simplicidad, bajo costo y respuesta rápida (Bennett and Farmer, 2008).



Figura 2.9: Actuador para Válvula de Mariposa

2.8. Sensores

Los sensores desempeñan un papel fundamental en los sistemas de control al proporcionar información precisa y en tiempo real sobre el entorno y los parámetros del sistema. Estos dispositivos detectan y convierten las magnitudes físicas, como temperatura, presión, luz o movimiento, en señales eléctricas que pueden ser procesadas y utilizadas por los sistemas de control.

Los sensores son la base de la recopilación de datos en los sistemas de control. Proporcionan información crítica sobre el estado y el comportamiento del sistema, permitiendo tomar decisiones y ajustar las acciones de control de manera precisa y eficiente. Los sensores son esenciales para el monitoreo, la detección de anomalías, la retroalimentación y la toma de decisiones en tiempo real (Dorf and Bishop, 2016).

Los sensores de temperatura, presión y ópticos son solo algunos ejemplos de las diversas tecnologías disponibles en la actualidad. La elección del sensor adecuado depende de los requisitos de la aplicación y los parámetros que se deben medir con precisión.

2.8.1. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura detectan y miden la temperatura de un objeto o un entorno. Se basan en diferentes principios, como la variación de la resistencia eléctrica, la expansión térmica o el efecto termoeléctrico. Los termistores y los termopares son ejemplos comunes de sensores de temperatura utilizados en aplicaciones industriales y de control de procesos (Fraden, 2010).

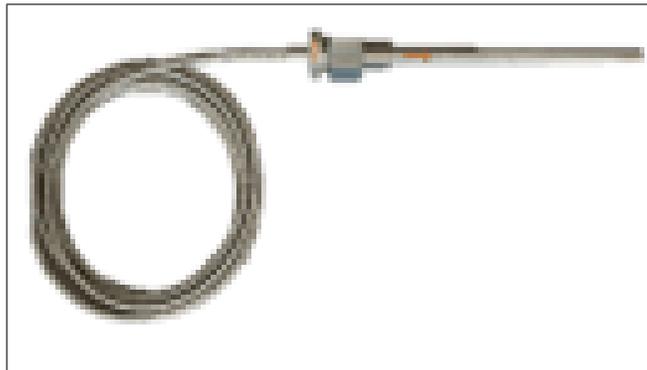


Figura 2.10: Sensor de Temperatura RTD PT100

2.8.2. Sensores de presión

Los sensores de presión miden la presión de un fluido o un gas en un sistema. Utilizan principios como la deformación mecánica, la variación de capacitancia o el cambio de resistencia para convertir la presión en una señal eléctrica. Los sensores de presión se utilizan en aplicaciones como el control de procesos, la monitorización de sistemas de aire comprimido y la medición de niveles de líquidos (Gupta, 2019).

2.8.3. Sensores ópticos

Los sensores ópticos detectan y miden diferentes propiedades de la luz, como la intensidad, la longitud de onda y la posición. Estos sensores utilizan principios como la reflexión, la refracción, la absorción y la dispersión de la luz para recopilar información. Los sensores ópticos se utilizan en aplicaciones como la detección de objetos, la medición de distancia y la identificación de colores (Czitrom and Spieß, 2018).

2.9. Controladores Lógicos Programables

Los Controladores Lógicos Programables (PLC, por sus siglas en inglés) han revolucionado la industria al proporcionar un enfoque flexible y eficiente para el control y la automatización de procesos. Estos dispositivos electrónicos programables se utilizan ampliamente en entornos industriales para controlar y supervisar máquinas y procesos.

Los PLC son componentes esenciales en la automatización industrial, ya que permiten el control y monitoreo de procesos en tiempo real. Su capacidad para ejecutar programas lógicos y secuenciales, y su interoperabilidad con otros dispositivos, los convierte en la piedra angular de la automatización en la industria manufacturera, la automatización de edificios, la energía, entre otros sectores (Duffie and Hall, 2015).

Se basan en la programación de circuitos lógicos y secuenciales para controlar el funcionamiento de los dispositivos conectados. Los principales componentes de un PLC incluyen una unidad central de procesamiento (CPU), memoria, entradas y salidas (E/S) y una interfaz de

programación. La CPU ejecuta el programa almacenado en la memoria y controla las E/S para interactuar con los dispositivos y procesos en el entorno industrial (Bolton, 2015).

Ventajas de los Controladores Lógicos Programables:

- **Flexibilidad:** Los PLC permiten cambios rápidos y fáciles en la lógica de control y en la configuración de las E/S, lo que facilita la adaptación a diferentes requisitos y escenarios de control.
- **Modularidad:** Los PLC se pueden expandir y personalizar con módulos de E/S adicionales según las necesidades del proceso, lo que brinda flexibilidad en la conexión y control de dispositivos. **Confiabilidad:** Los PLC están diseñados para funcionar en entornos industriales adversos, resistiendo vibraciones, temperaturas extremas y ruidos eléctricos.
- **Diagnóstico y mantenimiento:** Los PLC proporcionan herramientas de diagnóstico y monitoreo para facilitar la detección de fallas y el mantenimiento predictivo, minimizando el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento (Rehg and Sartori, 2016).

Los PLC se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales, incluyendo:

- **Control de procesos:** Los PLC controlan y supervisan operaciones en sistemas de producción, como control de temperatura, flujo, nivel y presión en procesos químicos y manufactureros.
- **Automatización de maquinaria:** Los PLC se utilizan para controlar máquinas industriales, como robots, líneas de montaje, equipos de embalaje y sistemas de transporte.
- **Automatización de edificios:** Los PLC se emplean en el control de iluminación, climatización y sistemas de seguridad en edificios comerciales y residenciales.
- **Energía y servicios públicos:** Los PLC se utilizan en la gestión y control de sistemas de generación de energía, distribución eléctrica, control de redes de agua y automatización de subestaciones.

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) han transformado la automatización industrial al proporcionar una solución flexible y confiable para el control y la supervisión de procesos en tiempo real. Su capacidad para programar circuitos lógicos y secuenciales, junto con su modularidad y adaptabilidad, los convierte en una opción preferida en una amplia gama de aplicaciones industriales. La flexibilidad, la confiabilidad y las capacidades de diagnóstico de los PLC los hacen indispensables en la automatización de procesos en la industria manufacturera, la infraestructura y el sector energético.



Figura 2.11: Diferentes PLC en la Industria (AUTYCOM, 2024)

Capítulo 3

Estado del Arte

3.1. Procesos de Deshidratación

Entre otros, Uyazán et al., (2004) mencionaron los diferentes procesos de deshidratación de etanol y sus características más importantes de cada una, entre las cuales se encuentra la deshidratación por tamices moleculares, además de las principales variables de operación y diferentes criterios utilizados en el diseño del esquema de separación, así como también presentaron una comparación de los tres principales procesos aplicados a nivel industrial, resaltando sus fortalezas y debilidades desde el punto de vista operativo y de consumo energético.

Este artículo permitió sentar las bases primordiales del presente proyecto para la obtención de los lazos de control principales como son las entradas y salidas del sistema así como también las variables de ruido que pueden presentarse, además permitió establecer los diagramas esquemáticos de los diferentes deshidratadores de etanol para realizar una comparación más acertada de la eficiencia del proceso mediante tamices moléculas como lo es la zeolita.

sistema de automatización moderno, después continua con la instrumentación del proceso, y se introduce la implementación de controladores sencillos o dispositivos industriales tales como los controladores lógicos programables PLC.

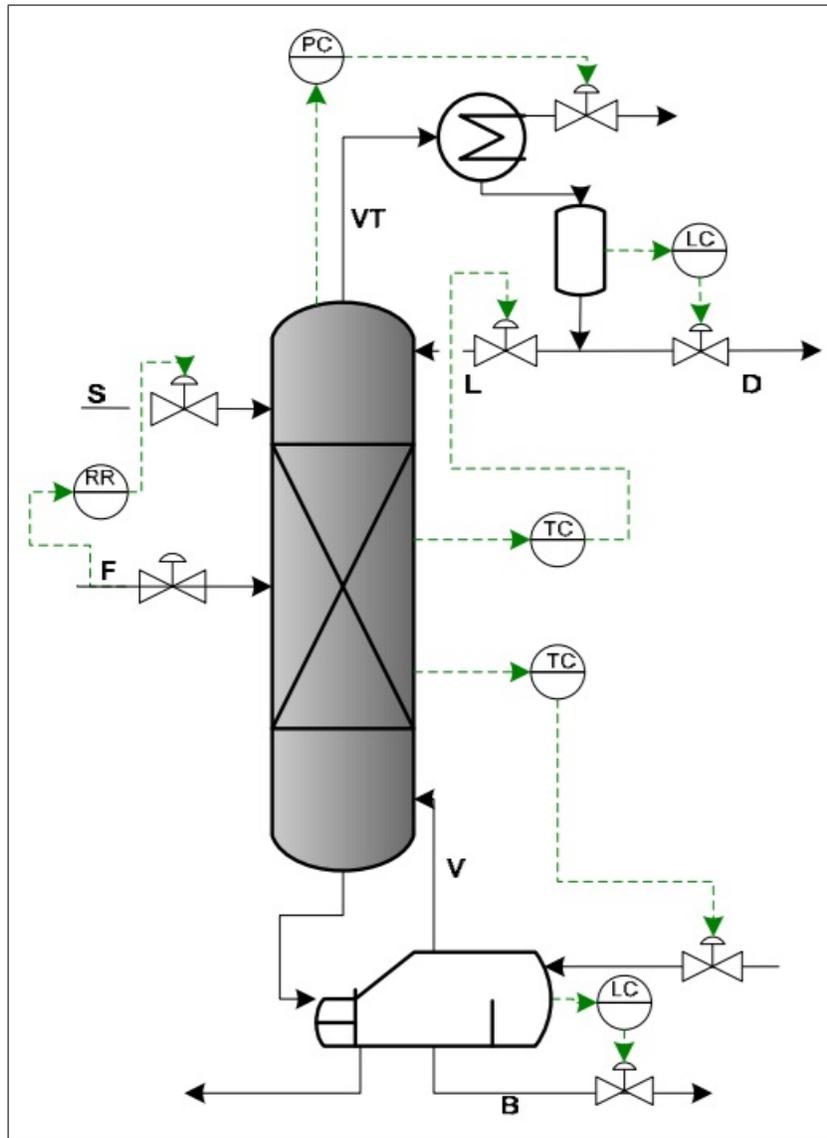


Figura 3.2: Diagrama de control de la destilación del etanol (Oliveros, 2011)

3.3. Deshidratación mediante tamices moleculares

Los autores Perez Bermudez y Garrido Carraleo (2011) comentaron a profundidad de la adsorción de agua con tamices moleculares específicamente las zeolitas, donde el proceso constó en colocar el lecho adsorbente entre la columna de deshidratación y el condensador, usando dos lechos paralelos para que uno elimine el agua mientras el otro esta en proceso de regeneración. Se mencionaron las ventajas de usar tamices moleculares en comparación a otros procesos de deshidratación:

- Mayor facilidad de operación
- Ahorro de costos de energía, operación y capital
- Separación eficiente para obtener un producto menos hidratado

	Destilación azeotrópica	Destilación extractiva	Tamices moleculares
Energía (kcal/l)	764 - 860	239 - 382	437 - 568
Agua 30 °C (l/l)	50-65 ($\Delta T=15^{\circ}\text{C}$)	25-35 ($\Delta T=15^{\circ}\text{C}$)	~ 55
Potencia (kW-h/m ³)	~ 11,1	~ 7,2	~ 9,5
Agente extractor (L/m ³)	0,6 – 0,9	≤ 0,2	~ 8 años vida útil

Figura 3.3: Comparación de los sistemas de deshidratación (Pérez Bermúdez and Garrido Carralero, 2011)

3.4. Zeolitas 3A

Kupiec et al., (2014) mencionó lo derivado de la experimentación con la zeolita sintética 3A en el proceso de deshidratación de una corriente gaseosa de etanol y agua con diferentes concentraciones. Utilizó la técnica de simulación para generar las curvas de ruptura obtenidos en el proceso y sus resultados mostraron que la zeolita 3A tiene la cualidad de que su porosidad y forma tiende a ser altamente selectiva y excelente adsorbente de las moléculas de agua, lo cual es esencial en una mezcla de etanol agua donde se requiere retirar las moléculas antes mencionadas.

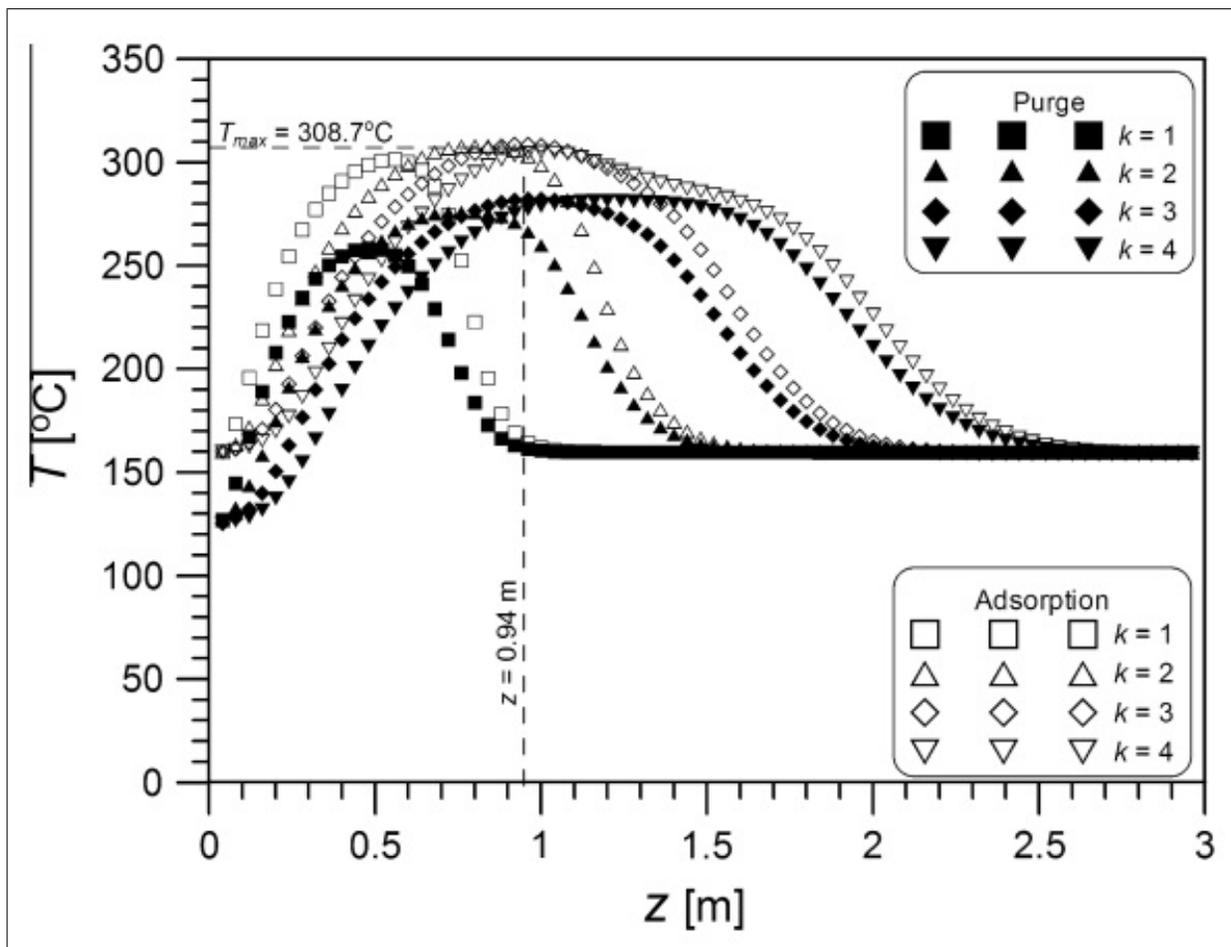


Figura 3.4: Simulación de perfiles de temperatura en ciclos iniciales de adsorción - desorción (Kupiec et al., 2014)

3.5. Regeneración de Zeolitas mediante TSA y PSA

Simo et al., (2009), mencionó que en el proceso de adsorción al extenderse de un tiempo determinado la zeolita disminuye su capacidad de adsorción, es decir, se satura, lo que en consecuencia genera una caída respecto a la calidad del producto, esto quiere decir que la zeolita ha llegado a su punto límite de retención de moléculas de agua, para lograr regresar la zeolita a su estado inicial se necesita el proceso llamado regeneración”, ya que esto permite la reutilización del material adsorbente en el proceso de adsorción (ciclo de regeneración).

Por lo cual se desarrollaron diferentes métodos de regeneración, entre ellas la tecnología de desorción, por variación de presión (Pressure Swing Adsorption) PSA, y el método de variación de temperatura (Temperature Swing Adsorption) TSA.

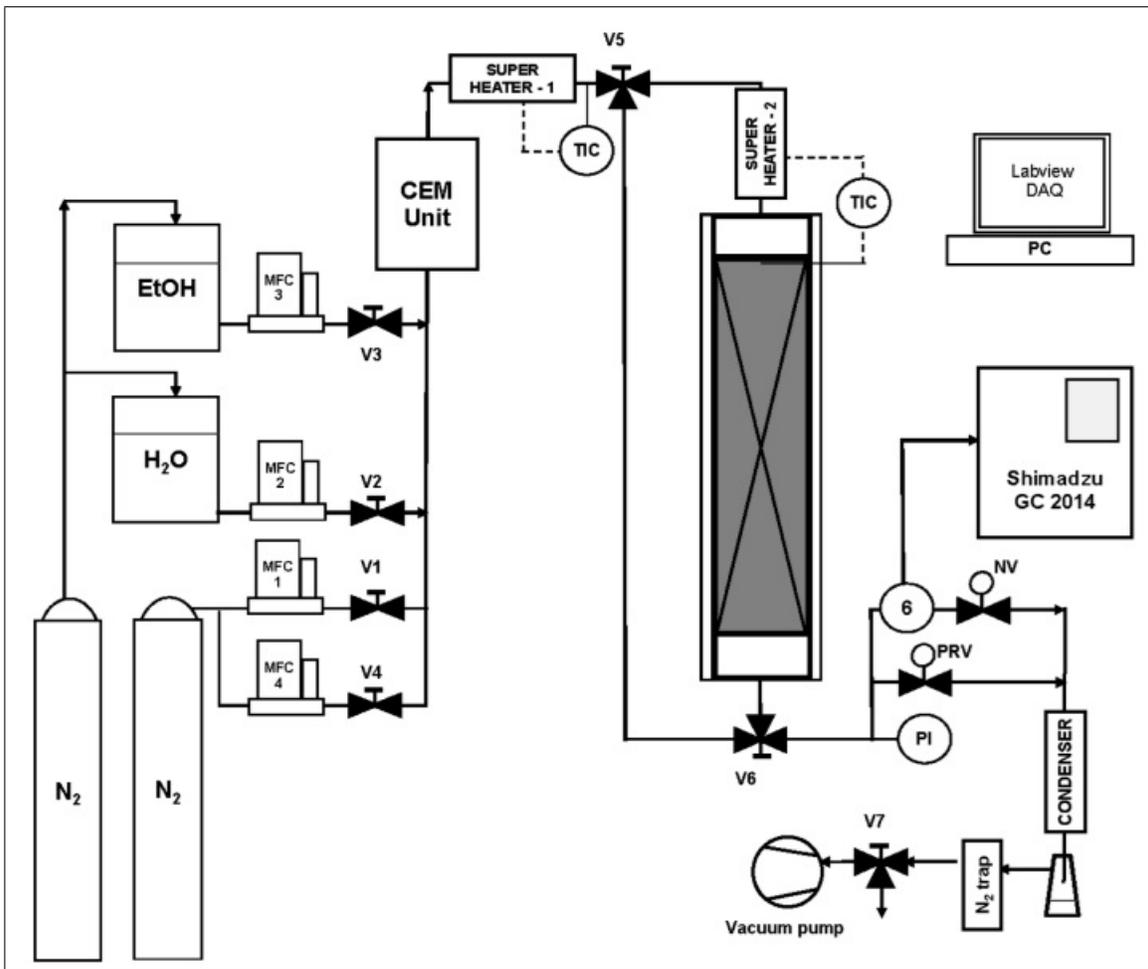


Figura 3.5: Diagrama de flujo de control del proceso de regeneración (Simo et al., 2009)

3.6. Método PSA

Gutierrez Gonzales et al., (2020) planteó el método de (PSA) que se refiere al proceso de eliminación de la molécula de agua por medio de un ciclo de adsorción-desorción por oscilación de presión. El autor realizó cálculos de simulación para las condiciones del proceso de deshidratación. Mediante un modelo matemático basado en balances de materia, momento para el agua y para la mezcla de etanol-agua se generó una simulación para la etapa de adsorción, se resolvió el modelo matemático del proceso por el método de diferencias finitas centradas. Se demuestra que el modelo matemático describe adecuadamente el proceso.

Capítulo 4

Desarrollo de la Metodología

4.1. Estructura de la Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados para la presente tesis, la estructura metodológica propuesta se muestra esquemáticamente en la figura 4.1:

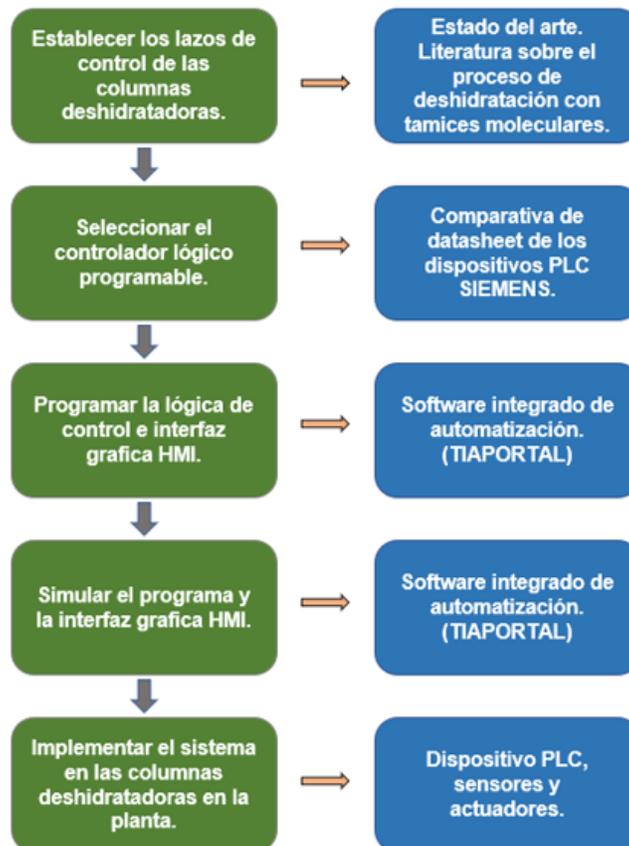


Figura 4.1: Estructura de la Metodología

Los recuadros verdes corresponden a los pasos del desarrollo de la metodología y los azules, los recursos y herramientas necesarias.

4.2. Definición de los lazos de control de las columnas deshidratadoras.

Dentro de la etapa se definirán los lazos de control que permitirán monitorear y ajustar las variables críticas del proceso para mantenerlas dentro de los límites deseados. Se enlistarán las propuestas de los pasos necesarios para establecer lazos de control efectivos en un proceso de deshidratación de etanol, asegurando la precisión y eficiencia en cada etapa del proceso.

Definir Objetivos de Control:

- Identificar los parámetros clave que deben ser controlados (por ejemplo, temperatura, presión, flujo, concentración de etanol).
- Establecer los objetivos específicos para cada parámetro (por ejemplo, mantener la temperatura a 70°C, la presión a 2 atm, etc.).

Comprender el proceso de deshidratación de etanol mediante tamices moleculares.

- Definir las relaciones entre las variables del proceso y los objetivos de control.

Identificar Sensores y Actuadores:

- Identificar los sensores utilizados para medir las variables clave (por ejemplo, sensores de temperatura, presión, flujo).
- Elegir actuadores apropiados que puedan ajustar las variables del proceso (por ejemplo, válvulas, bombas, calentadores).

Diseñar el Esquema de Control:

- Diseñar el diagrama de instrumentación y control (P&ID) del proceso.
- Definir la lógica de control necesaria para mantener las variables del proceso dentro de los límites deseados.

4.3. Selección del controlador lógico programable.

La etapa consiste en seleccionar el Controlador Lógico Programable (PLC), por siglas en ingles Programmable Logic Controller, que mejor se acople a las necesidades del proyecto, para llegar a una selección adecuada es necesario realizar una comparativa de los diferentes equipos SIEMENS en base al numero de variables existentes en el proceso a controlar, lo diferentes tipos de entradas y salidas que se necesitaran, la diferente gama de precios, el tipo de programación que utiliza, tiempo de licencia, entre otras características.

En el caso específico del proyecto, se recomienda optar por los PLC de la marca SIEMENS debido a su reconocida calidad, fiabilidad y funcionalidad avanzada. A continuación, se detallan los aspectos clave a considerar al elegir un PLC SIEMENS para este proyecto:

- Es fundamental comprender los requisitos específicos del proyecto, incluyendo el tipo de aplicación, los procesos involucrados, las entradas y salidas requeridas, la capacidad de procesamiento necesaria y las funcionalidades adicionales necesarias.
- Se debe asegurar de que el PLC SIEMENS seleccionado sea capaz de adaptarse al crecimiento y las futuras expansiones del proyecto. La escalabilidad permitirá agregar módulos o componentes adicionales según sea necesario.
- Los PLC SIEMENS son conocidos por su confiabilidad y durabilidad en entornos industriales exigentes. Se necesita asegurar de seleccionar un PLC que esté diseñado para soportar las condiciones ambientales y los requisitos de funcionamiento específicos del proyecto.
- Se debe tener en cuenta el costo total de propiedad a lo largo del ciclo de vida del PLC. Además del costo inicial del equipo, considere los costos de mantenimiento, las actualizaciones de software, la disponibilidad de repuestos y la vida útil esperada del PLC.

4.4. Programación la lógica de control e interfaz grafica.

En esta etapa consiste en que una vez comprendidos y documentados los requisitos específicos del proceso, incluyendo las entradas y salidas requeridas y los procesos involucrados, se procederá a crear un diseño conceptual de la arquitectura del sistema, así como la estructura de control y comunicación entre PLC y la interfaz humano-maquina (HMI).

En este caso se utilizara el software de programación TIAPortal con este se desarrollará la lógica de control para la configuración de rutinas, manejo de eventos y alarmas, así como también se programa el HMI igualmente con TIAPortal específicamente WinCC ya que con el desarrollo de la interfaz grafica se le permitirá a los operadores interactuar con el sistema, esto incluirá la creación de pantallas, botones, alarmas, gráficos y cualquier otra funcionalidad necesaria para el monitoreo y control del proceso.

La comunicación mediante el PLC y la HMI se comunicaran sera por cable Ethernet para establecer la correcta transferencia de datos y sincronización en ambos dispositivos, se deben tomar en cuenta los pasos que se pueden observar en la figura 4.3:

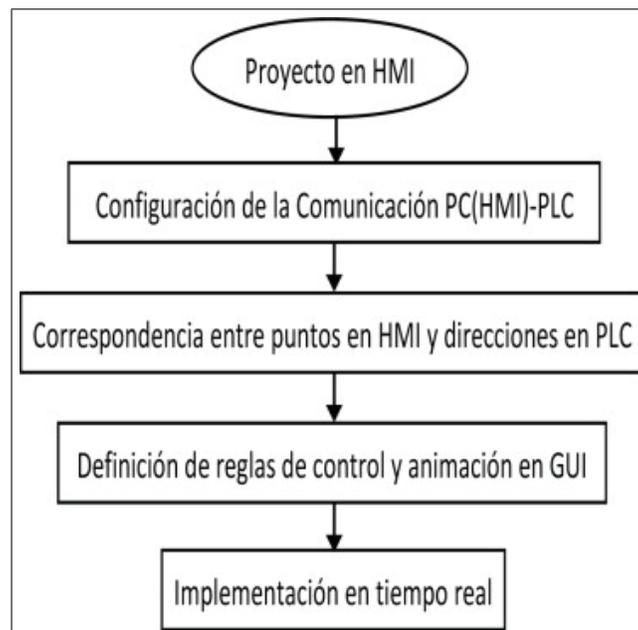


Figura 4.2: Pasos a seguir para comunicación PLC-HMI

4.5. Simulación el programa y la interfaz grafica HMI.

Esta etapa se enfoca directamente en simular dentro del software de automatización el algoritmo a cargar en el controlador lógico programable en el programa TIAPortal V17 y PLCSIM, dentro de las opciones de lenguaje de programación a utilizar se opta por el lenguaje escalera, ya que es de los más aplicados en la industria, aparte de ser un entorno rápido de entender, grafico y amigable con el usuario.

Para verificar que el programa compile de manera correcta y no tenga algún error antes de cargarlo de manera física, se debe subir el código realizado en TIAPortal hacia el PLC virtual llamado PLCSIM el cual ya es proporcionado dentro de la paquetería de TIAPortal, realizar esta etapa es fundamental para identificar las áreas del código que necesitan atención y así identificar a los posibles errores que se presenten en el dispositivo físico.

También se hace mención que al realizar la simulación del código, simultáneamente se estará compilando el código de la HMI por lo cual se corroborará si las variables se visualizan de manera correcta, la figura 4.4 muestra un ejemplo de la simulación en el ordenador.

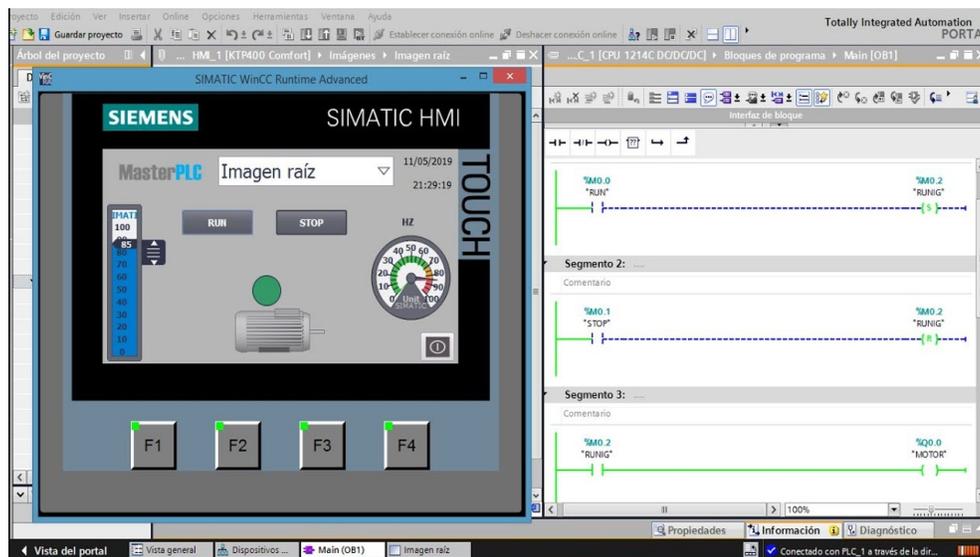


Figura 4.3: Ejemplo de simulación en PLCSIM (Ejemplo generado por TiaPortal)

4.6. Implementación el sistema en las columnas deshidratadoras en la planta.

La parte final de la metodología se enfoca en la implementación del conjunto de pasos anteriores. Una vez que la lógica de control ha sido simulada y verificada sin errores, se cargará al dispositivo físico. Los actuadores y sensores requeridos serán instalados, y el dispositivo de control se conectará a una interfaz eléctrica adecuada para alimentar el equipo y permitir la comunicación de órdenes del programa.

Se llevaran a cabo los siguientes pasos para obtener una implementación optima:

- Seleccionar cuidadosamente el lugar donde se instalará el PLC. Asegurarse de que esté protegido de factores ambientales adversos, como humedad, polvo, vibraciones y altas temperaturas. Además, cerciorarse de que exista un acceso adecuado para el mantenimiento y la conexión de los cables de entrada y salida.
- Verificar la disponibilidad y la calidad del suministro eléctrico en el lugar de instalación del PLC. Asegurarse de que se cumplan las especificaciones de voltaje, frecuencia y potencia requeridas por el PLC. Considerar también la protección contra sobretensiones y la instalación de sistemas de respaldo de energía, como UPS (Sistemas de Alimentación Ininterrumpida).
- Planificar el cableado de manera ordenada y asegurarse de utilizar cables de calidad adecuada. Verificar las conexiones eléctricas y asegurarse de que estén correctamente apretadas y aisladas para evitar problemas de cortocircuitos o interferencias electromagnéticas. Organizar los cables de manera que sean fáciles de identificar y mantener.
- Instalar el PLC en un soporte o riel adecuado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Asegurarse de que el montaje sea sólido y seguro para evitar vibraciones y movimientos indeseados. Utilizar los dispositivos de fijación apropiados, como tornillos o abrazaderas, siguiendo las indicaciones proporcionadas por el fabricante.
- Los PLC generan calor durante su funcionamiento. Asegurarse de que haya una adecuada ventilación en el área de instalación y seguir las recomendaciones del fabricante con

respecto a los espacios de aire requeridos alrededor del PLC.

- Etiquetar claramente todas las conexiones, cables y componentes del sistema para facilitar la identificación y el mantenimiento. Documentar el esquema de cableado, la configuración del PLC y cualquier información relevante en manuales o archivos electrónicos. Esto facilitará futuras modificaciones o reparaciones.
- Asegurarse de seguir las normas y regulaciones de seguridad pertinentes durante la implementación del PLC. Utilizar equipos de protección personal adecuados y seguir los procedimientos de seguridad establecidos. Considerar la instalación de dispositivos de protección, como fusibles o interruptores de seguridad, para salvaguardar el sistema y los operadores en caso de fallas o emergencias.
- Antes de poner en funcionamiento el sistema, realizar pruebas exhaustivas para verificar que todas las conexiones estén correctas y que el PLC funcione según lo esperado. Verificar el correcto funcionamiento de las entradas y salidas, realizar pruebas de comunicación y asegurarse de que la lógica de control esté operando correctamente.

Capítulo 5

Aplicación de la Metodología

5.1. Definición de los lazos de control de las columnas deshidratadoras.

Se tomara como base de este proyecto los parámetros obtenidos a nivel laboratorio del proceso de deshidratación con tamices moleculares reportados por la autora Leo Avelino (2019), ya que en esta etapa se pretende seleccionar los valores de operación a nivel planta piloto de manera experimental. El autor anterior determino mediante un modelo matemático los parámetros mostrados en la Tabla 5.1:

Tabla 5.1: Parámetros de Operación (Leo Avelino, 2019)

Parámetro	Valor
<i>Diámetro de la columna, d (cm)</i>	2.5
<i>Longitud de la columna, L_2 (cm)</i>	60
<i>Longitud de la columna, L (cm)</i>	50
<i>Densidad de zeolitas, ρ_P (g/cm³)</i>	1.16
<i>Tiempo de ruptura, t_b (min)</i>	12
<i>Flujo de alimentación (laboratorio), Q (cm³/min)</i>	8
<i>Flujo de alimentación (planta piloto), Q_2 (cm³/min)</i>	150

Partiendo de los datos previamente mencionados, es factible determinar las variables pertinentes para el proceso de programación. Esta información es fundamental para establecer los lazos de control necesarios que permitirán definir las prioridades y secuencias de la deshidratación. Este enfoque facilita la construcción de una lógica de control óptima.

Al analizar detenidamente todo lo anterior se obtiene el diagrama de las columnas deshidratadoras de etanol en su estado inicial representado en la Figura 5.1, para identificar las deficiencias en instrumentación y control presentes en ese estado inicial.

Para automatizar el proceso, será necesario utilizar un lazo con retroalimentación, un lazo cerrado, el cual proporcionará al PLC las lecturas respectivas de temperatura y presión para las etapas de adsorción y regeneración. Se propone el siguiente diagrama, representado en la Figura 5.3, que cubre todas las variables a controlar en el proceso, así como indicadores visuales que faciliten una rápida identificación de los valores y posibles errores en la visualización digital.

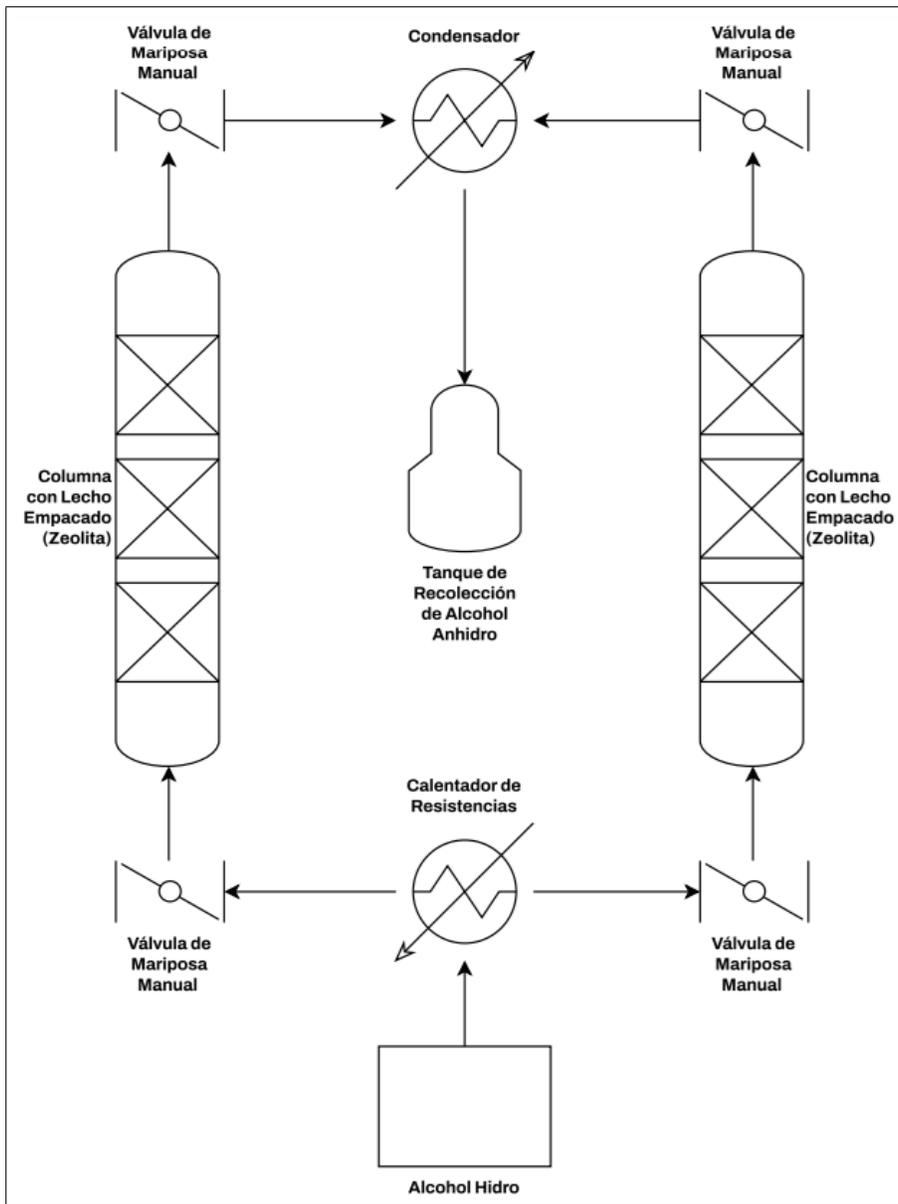


Figura 5.1: Diagrama inicial de las columnas deshidratadoras de etanol

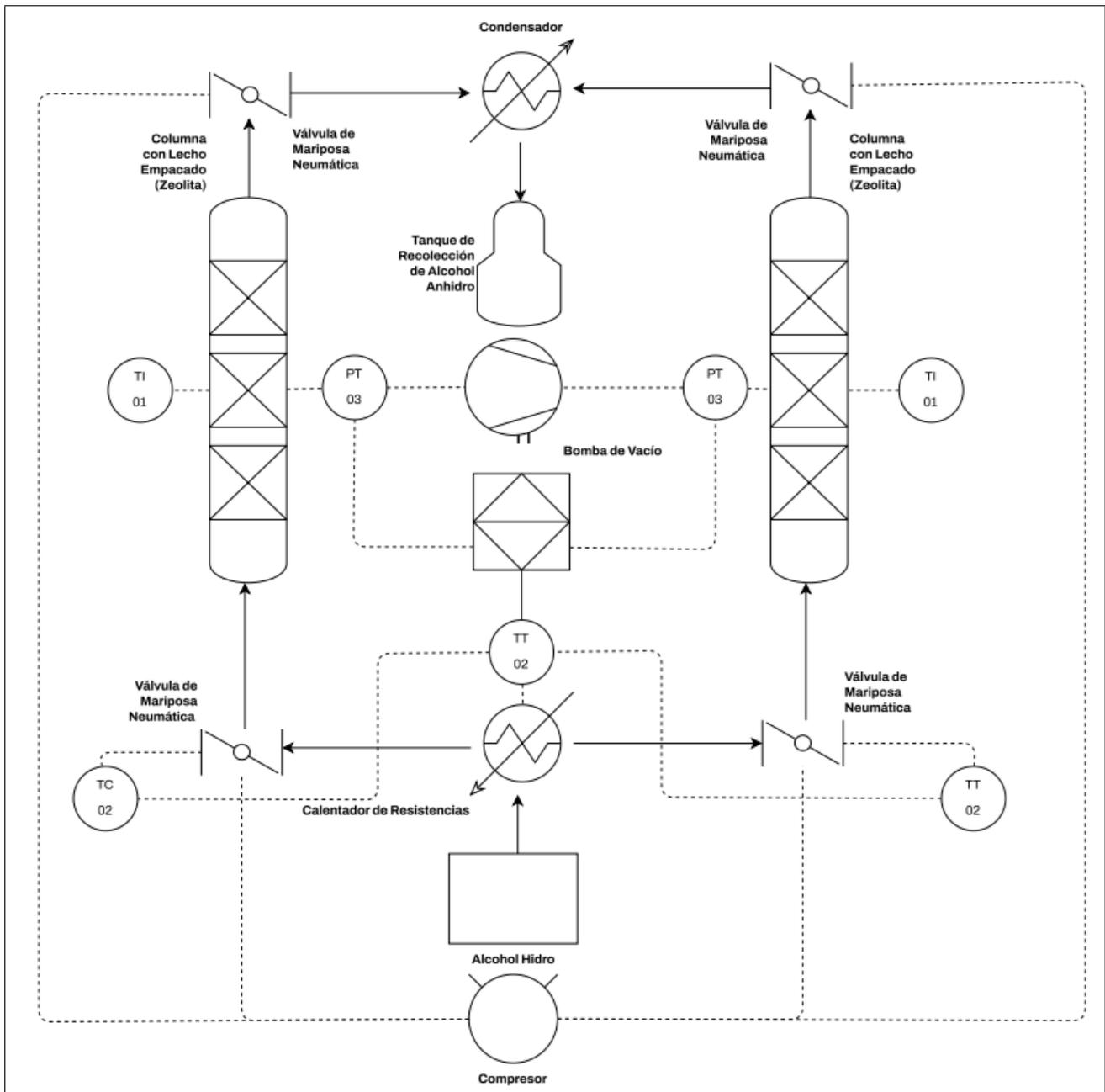


Figura 5.2: Diagrama propuesto de las columnas deshidratadoras de etanol

5.2. Selección del controlador lógico programable.

Para efectuar la selección del PLC que se adecuó a las necesidades previamente mencionadas, será necesario enumerar las entradas y salidas del sistema.

Las entradas del sistema son las siguientes:

- Análoga:
 - Sensor de temperatura.
- Digital:
 - Botón físico de Start.
 - Botón físico de Stop.

Las salidas del sistema son las siguientes:

- Relay:
 - Válvula Neumática Izquierda Superior e Inferior
 - Válvula Neumática Derecha Superior e Inferior
 - Resistencias Eléctricas del Calderin.
 - Led de la botonera Start-Stop.

Se opta por la marca de PLC's SIEMENS debido a que algunos procesos dentro de la planta ya utilizan controladores de esta marca, lo que también facilita la comunicación en futuros proyectos. En la Tabla 5.3 se mencionan los dispositivos a considerar.

Tabla 5.2: Comparación de modelos PLC SIEMENS S7-1200 1212C

PLC SIEMENS	Descripción	Precio (MXN)
<i>S7-1200 1212C DC/DC/DC</i>	CPU con alimentación DC, 8 entradas digitales DC, 2 entradas analógicas y 6 salidas digitales DC.	\$10,500
<i>S7-1200 1212C AC/DC/RLY</i>	CPU con alimentación AC, 8 entradas digitales DC, 2 entradas analógicas y 6 salidas de relé.	\$11,500
<i>S7-1200 1212C DC/DC/RLY</i>	CPU con alimentación DC, 8 entradas digitales DC, 2 entradas analógicas y 6 salidas de relé.	\$12,000

Se realiza una comparación de diversos modelos de HMI, como se muestra en la Figura 5.4, para ajustar a las necesidades y complejidad del proyecto. El objetivo es obtener una visualización en tiempo real de las variables y lograr un mayor control del proceso.

Tabla 5.3: Comparación de modelos HMI SIEMENS KTP

HMI SIEMENS	Descripción	Precio (MXN)
<i>HMI KTP400 BASIC</i>	Pantalla táctil de 4", resolución de 480x272 píxeles, 3 colores.	\$6,000
<i>HMI KTP700 BASIC</i>	Pantalla táctil de 7", resolución de 800x480 píxeles, 3 colores.	\$10,000
<i>HMI KTP1200 BASIC</i>	Pantalla táctil de 12", resolución de 1280x800 píxeles, 16 millones de colores.	\$20,000

Se opta por el PLC SIEMENS S7-1200 1212C AC/DC/RLY debido a que permite el manejo directo de las entradas con corriente alterna, eliminando la necesidad de un eliminador de corriente para trabajar con corriente directa. Respecto al HMI, se elige el KTP400 BASIC, dado que al no requerir una alta resolución, se pueden economizar recursos y destinarlos a los com-

plementos necesarios.

5.3. Programación la lógica de control e interfaz grafica.

En la sección de programación de la lógica de control, realizada en el software TiaPortal V17, se observan diferentes segmentos que representan las etapas del proceso dentro de las columnas de deshidratación. Estas etapas, esenciales para el funcionamiento eficiente del sistema, se agrupan en tres bloques principales, cada una abordando aspectos específicos del proceso de deshidratación y controlando las acciones correspondientes en función de las variables y condiciones detectadas:

- **Contacto 1:** Lectura del Set/Reset.
- **Contacto 2:** Normalización y Escalado del PT100.
- **Contacto 3:** Arreglo de Timers.

Contacto 1: Lectura del Set/Reset.

En el contacto 1 se emplea el segmento de Set-Reset para mantener el estado de la salida en función de una condición establecida. Se emplean dos contactos, en este caso el Botón Arranque y Paro: uno para establecer (Set) el estado activado de la salida y otro para restablecer (Reset) ese estado a su condición inactiva respectivamente. Cuando la condición se cumple, el bit de Set se activa, lo que hace que la salida se active. Posteriormente, cuando se cumple la condición para restablecer, el bit de Reset se activa, devolviendo la salida al estado inactivo.

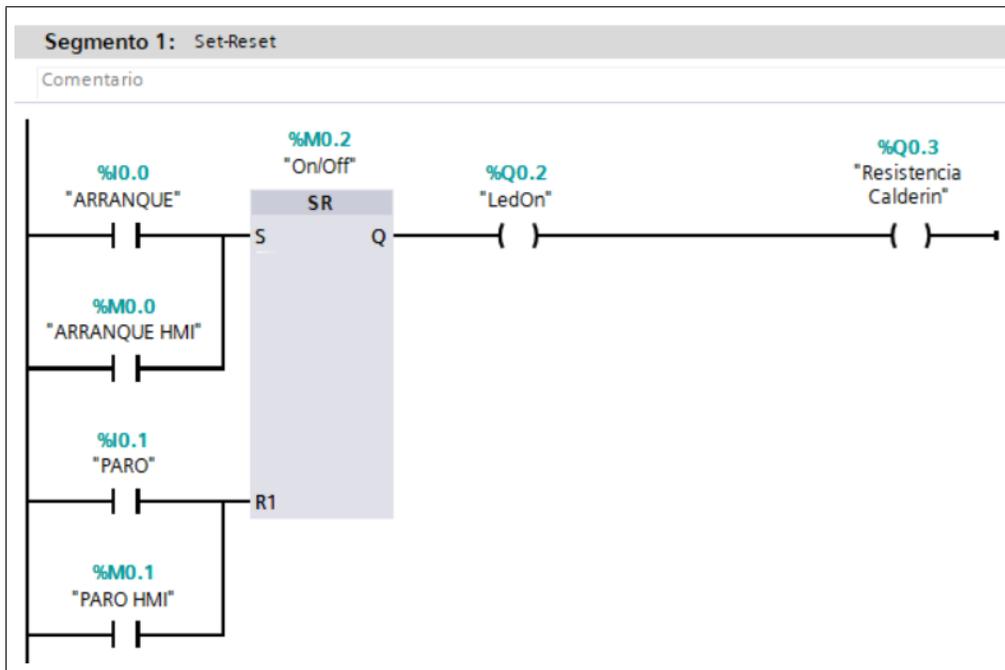


Figura 5.3: Contacto 1 o Segmento 1

Contacto 2: Normalización y Escalado del PT100.

El normalizado y el escalado del sensor de temperatura se emplea para convertir la lectura en bits (0-27648) del sensor en un valor utilizable y significativo para el sistema de control. El normalizado implica ajustar la lectura del sensor para que esté dentro de un rango predefinido, generalmente entre 0 y 1. Este proceso garantiza que la entrada del sensor sea compatible con el rango de valores esperados por el controlador. Una vez normalizada, la lectura se somete al escalado, que implica convertir la lectura normalizada en una escala específica de valores en este caso específico grados Celsius. Esto se logra multiplicando la lectura normalizada por el rango de temperatura esperado y luego sumando la temperatura mínima del rango. El resultado final es una lectura escalada que representa con precisión la temperatura medida por el sensor en unidades comprensibles y útiles para el sistema de control. Este proceso es esencial para garantizar una operación precisa y confiable del sistema en función de las mediciones del sensor de temperatura.

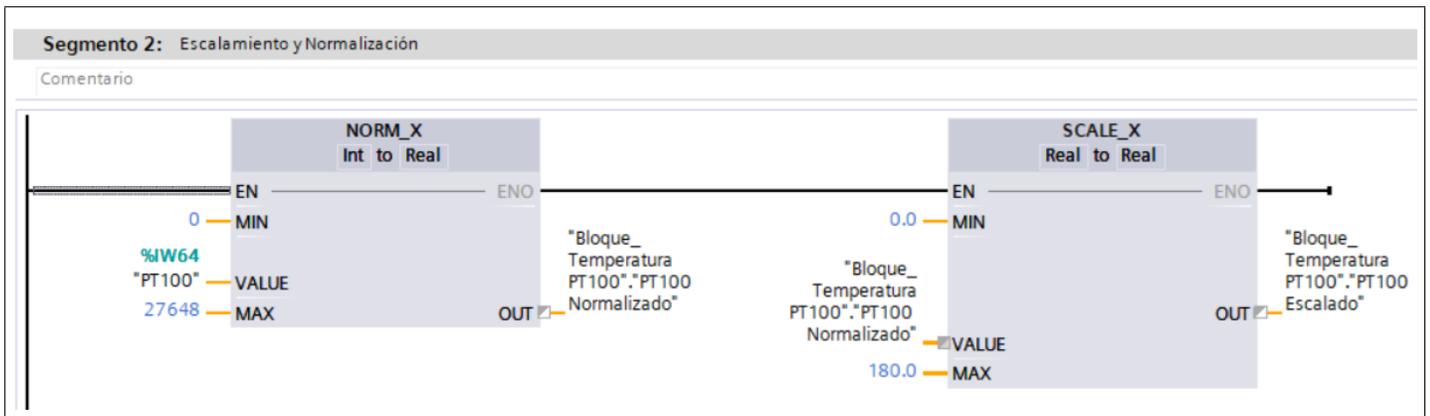


Figura 5.4: Contacto 2 o Segmento 2

Contacto 3: Arreglo de Timers.

El arreglo de timers se generó con una estructura de datos que se utiliza para gestionar múltiples temporizadores de manera eficiente. Los temporizadores permiten introducir retardos específicos entre eventos y coordinar acciones en función del tiempo en este caso cuando una de las columnas este en el proceso de adsorción mientras que la otra en en proceso de regeneración. Al cumplirse las condiciones que son que el bloque de Set-Reset este activado y que la comparación de la temperatura de ebullición del alcohol hidro y la real, se dará entrada al arreglo, es cual otorgara un tiempo de 15 minutos entre cada columna

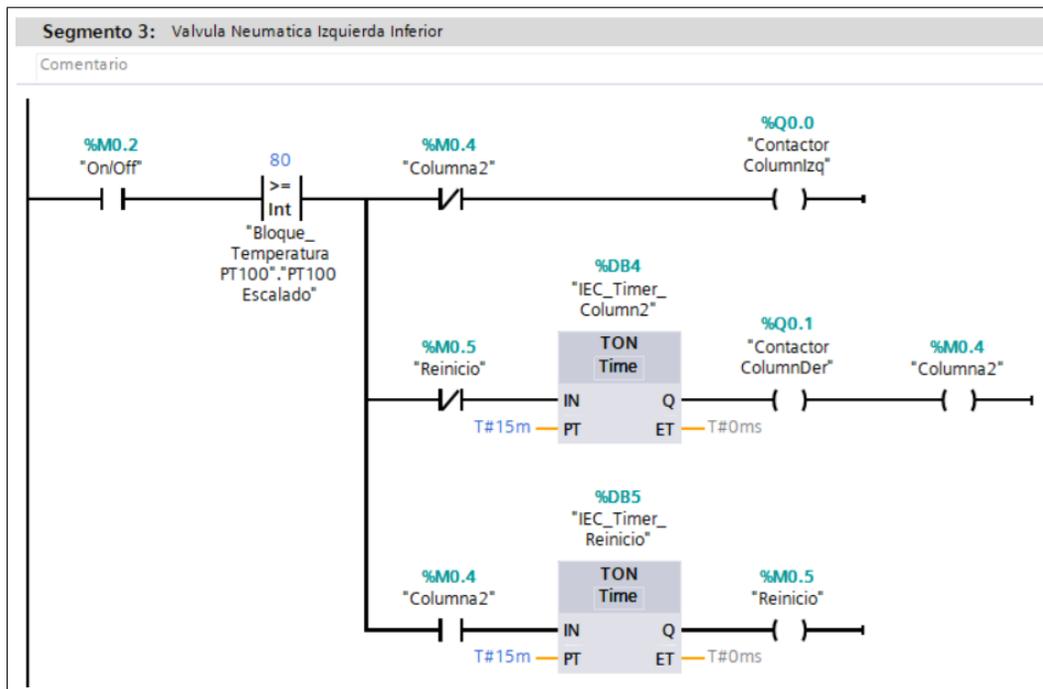


Figura 5.5: Contacto 3 o Segmento 3

5.4. Simulación el programa y la interfaz grafica HMI.

La simulación en TIA Portal permitió verificar el funcionamiento del programa anteriormente explicado antes de su implementación en el entorno real. Esta funcionalidad proporciona un entorno virtual donde se puede ejecutar y evaluar el comportamiento del programa en condiciones simuladas, sin la necesidad de estar conectado a hardware físico.

La simulación identifica y corrige los errores o problemas de lógica en el programa antes de que afecten al sistema real, lo que contribuye a reducir el tiempo y los costos asociados a resolver cualquier error o falla que se pueda generar por una mala programación.

En este paso se podrá corroborar la correcta comunicación entre el PLC S7-1200 AC/DC/RLY y el HMI KTP400 Basic como se muestra en la Figura 5.6:

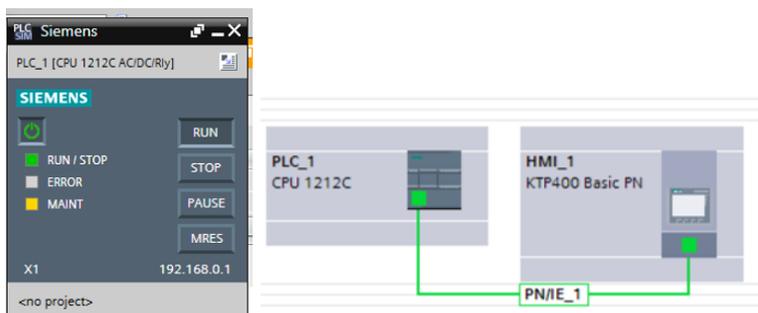


Figura 5.6: Comunicación Exitosa entre PLC y HMI

A su vez se visualiza la interfaz grafica programada para el HMI representada en la Figura 5.7.



Figura 5.7: Portada de Interfaz Grafica HMI

5.5. Implementación el sistema en las columnas deshidratadoras en la planta.

Como primer paso en la etapa de implementación del sistema en las columnas deshidratadoras, se instalará el indicador de temperatura en las columnas. Como se identificó en la etapa de lazos de control, la toma de decisiones realizada por el PLC, debe ocurrir en la zona del calderín que contiene el alcohol hidro ya que al ingresar a la zona del tamiz molecular, en este caso la zeolita, el alcohol ya se encuentra en evaporado. Por lo cual es necesario un indicador de temperatura con un rango de 0 a 250 grados Celsius de la marca Metron, que confirme el flujo de vapor a través de la columna en adsorción. El indicador se ilustra en la Figura 5.8.



Figura 5.8: Indicador de Temperatura METRON

La instalación del sensor de temperatura permitirá monitorear la zona del calderín, donde el punto de ebullición de la mezcla binaria de etanol y agua al 95 % es de 80 grados Celsius. Para esta tarea, se utilizará un termopar PT100 RTD de 3 hilos, que se instalará con su correspondiente termopozo, tal como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.9: Sensor de Temperatura y Termopozo

Adicionalmente se implementarán válvulas de mariposa con su respectivo actuador de la marca BRAY CONTROLS, como se muestra en la Figura 5.10. Estas válvulas fueron seleccionadas debido a que sus especificaciones son adecuadas para los parámetros de operación de las columnas. Adicionalmente, se instalará una válvula NAMUR, Figura 5.11, una válvula solenoide que permite el paso del aire comprimido del sistema neumático y que, a su vez, recibe la señal del PLC para abrir o cerrar el flujo de vapor proveniente de la salida del calderín.



Figura 5.10: Válvula de Mariposa Neumática BRAY CONTROLS



Figura 5.11: Válvula Solenoide NAMUR

Al finalizar la instalación de los sensores, actuadores y el controlador lógico programable, se procederá a cargar el programa en el controlador y a verificar cada instrumento instalado. Esta verificación es esencial para corroborar la correcta conexión eléctrica y asegurar una interpretación precisa de las lecturas de los sensores.

Finalmente, una vez verificado todo, se activará la zeolita en la cámara térmica ubicada dentro de la planta piloto. En esta etapa, la zeolita se secará durante varios días para eliminar la humedad presente en ella, como se muestra en la Figura 5.12. Una vez completado este proceso, se vaciará el tamiz en las dos columnas y se iniciarán las pruebas.



Figura 5.12: Sensor de Temperatura y Termopozo

Capítulo 6

Análisis de Resultados

Al concluir la implementación, se logra automatizar con éxito el proceso de deshidratación a nivel industrial. Tanto al inicio como al final del proceso, no es necesaria ninguna intervención por parte del usuario, y el comportamiento de las variables puede ser monitoreado desde el ordenador. La Figura 6.1 ilustra el estado inicial de un calderín con resistencias eléctricas conectadas directamente a la corriente, válvulas de mariposa manuales y sin control de las variables. Tras completar la implementación, se cuenta con un conjunto de componentes que envían y reciben lecturas que permiten el comienzo de la toma de decisiones del PLC.



Figura 6.1: Columnas antes y después de la implementación

Al abrir el HMI, se presenta la imagen de bienvenida, donde muestra la foto de la Planta Piloto de Bioetanol 2G, con su respectivo encabezado institucional y nombre del proyecto, como se muestra en la Figura 6.2.

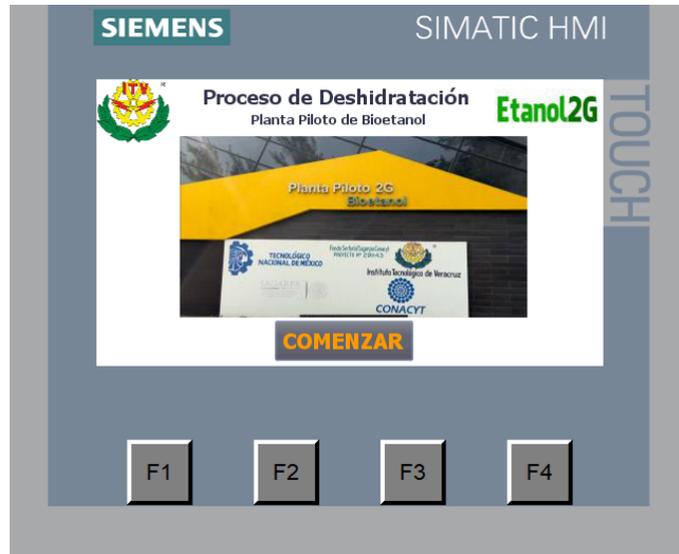


Figura 6.2: Pagina principal del HMI

Al presionar el botón de comenzar, se accede a una plantilla que desplegará la información para realizar diferentes acciones sobre el proceso (ver Figura 6.3), tales como:

- Boton digital de inicio de Proceso.
- Boton digital de paro de Proceso.
- Boton digital de Home para regreso a la pantalla de inicio.
- Columna donde se desea comenzar el proceso de adsorción (Izquierda/Derecha).
- Temperatura en tiempo real del calderin.
- SetPoint de la temperatura deseada en el calderin para iniciar el proceso.
- Segundos restantes en fase de adsorción.
- Segundos restantes en fase de regeneración.

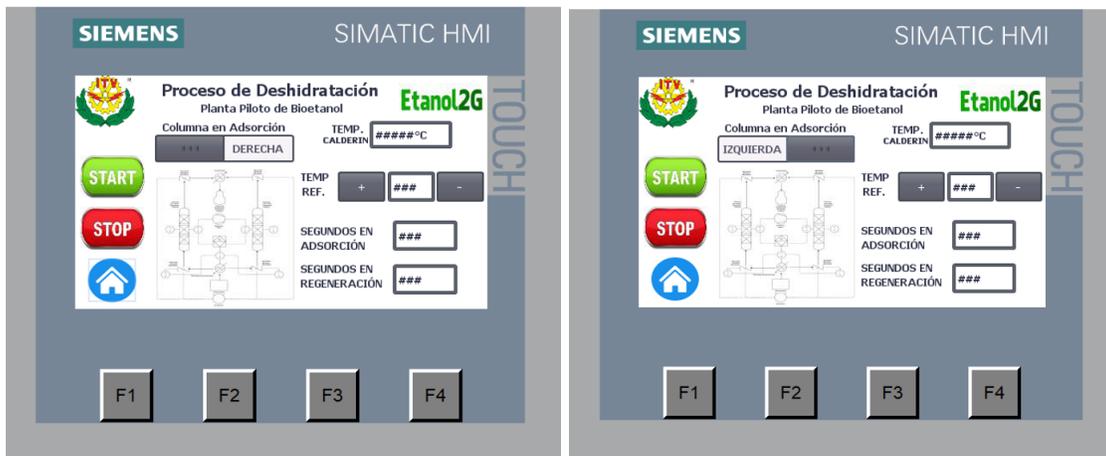


Figura 6.3: Plantilla de control del HMI

El HMI mostrará inicialmente una pantalla de presentación, diseñada para dar una bienvenida amigable y facilitar la explicación del proceso, especialmente en el contexto de una planta piloto de una institución de educación superior, donde los alumnos aprenden. Esta imagen inicial evita mostrar una pantalla con información sobre variables aún no vinculadas a una parte específica del proceso.

El apartado de columna en adsorción permitirá seleccionar la columna con la que se decide comenzar el proceso. Esta opción es útil si una de las columnas ha finalizado su ciclo sin regenerar la opuesta, permitiendo iniciar el proceso con la columna disponible y evitar tiempos muertos mientras se espera la regeneración.

Además, habrá un apartado para la temperatura en el calderín que mostrará en tiempo real la variable correspondiente. El apartado de temperatura de referencia comparará esta temperatura real, y, al cumplirse la condición, se procederá a abrir las válvulas neumáticas enviando una señal a la válvula solenoide NAMUR.

Por último, la pantalla incluye apartados para los tiempos de adsorción y regeneración en segundos, mostrando el tiempo restante en cada columna según la fase en la que se encuentre. Esta interfaz está diseñada para mejorar la eficiencia del proceso, proporcionando la información esencial para supervisar el sistema sin necesidad de realizar mediciones externas.

La automatización del proceso de deshidratación de etanol permitió verificar la hipótesis de que el tiempo de procesamiento se reduce al eliminar la necesidad de un operador para el control de las variables, para esto se procedió a realizar una grafica comparativa de los dos métodos para poder visualizar el comportamiento de los resultados.

Se inicio con la recolección de muestras cada minuto para verificar en el transcurso del tiempo la concentración del producto la cual se ve representada en la Figura 6.4.

Utilizando el control manual se obtiene una concentración de alcohol al 99.9 % en 13 minutos, mientras que con el control automatizado se reduce a 9 minutos.

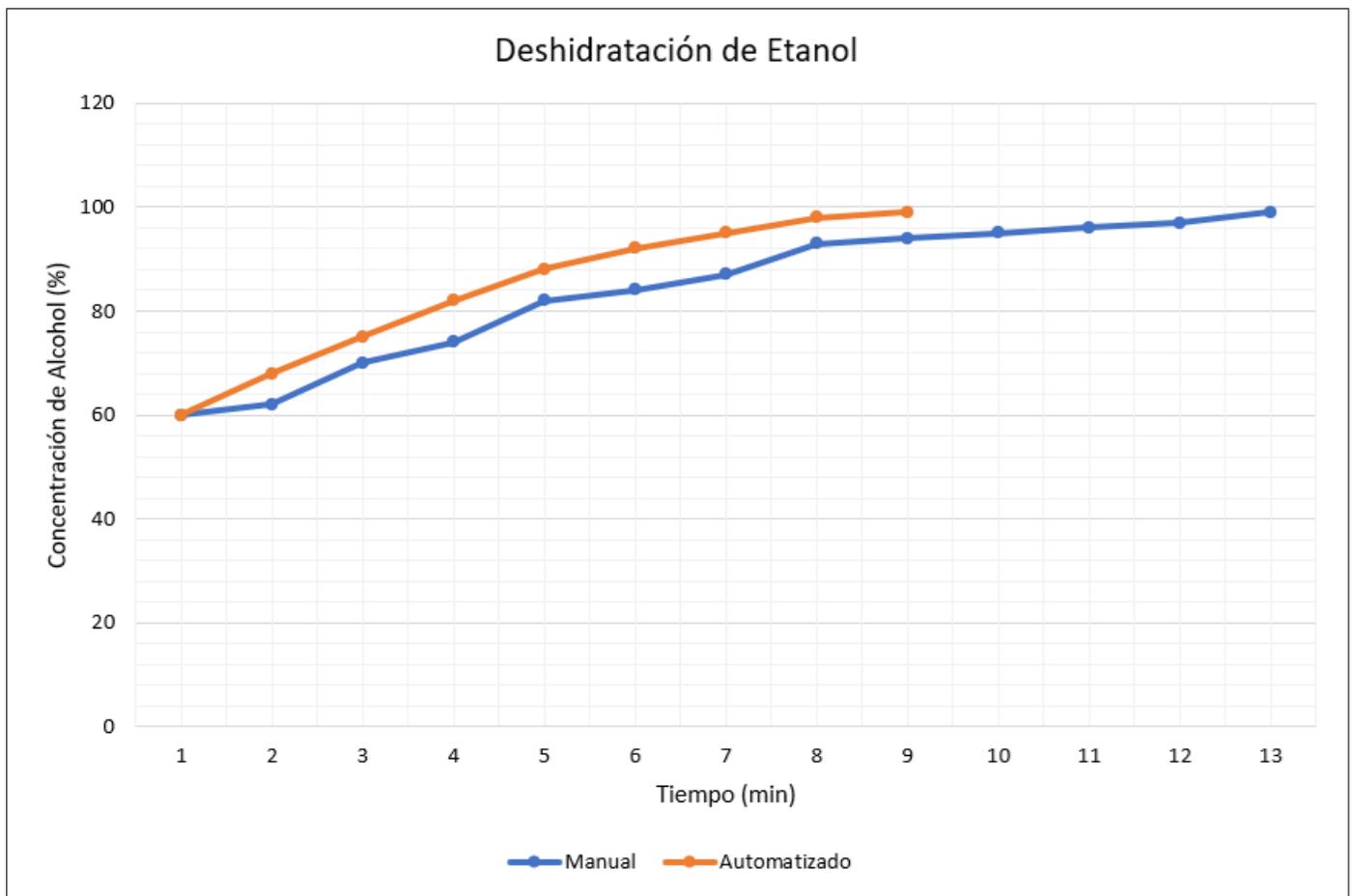


Figura 6.4: Grafica de recolección de concentración de alcohol

En la Tabla 6.1 se muestran los tiempos correspondientes a la deshidratación manual. Se puede observar que, cuando el calentamiento de la alimentación y el control de las válvulas de paso se realizan manualmente, se produce un desfase entre las etapas de adsorción y regeneración. Este desfase genera tiempos muertos y un consumo energético excedente.

Tabla 6.1: Tiempos de Deshidratado Manual (Leo Avelino, 2019)

Alimentación (L/h)	Tiempo en Adsorción(min)	Tiempo en Regeneración(min)
9	13	15

Para los valores del proceso automatizado mostrados en la Tabla 6.2 se confirma que los tiempos del proceso de deshidratación disminuyen de manera significativa con la automatización. Esto corrobora la hipótesis de que al automatizar el proceso, se reducen los tiempos en cada fase y, en consecuencia, se disminuye el consumo de energía eléctrica. Por lo tanto, se puede deshidratar más etanol utilizando menos energía.

Tabla 6.2: Tiempos de Deshidratado Automatizado

Alimentación (L/h)	Tiempo en Adsorción(min)	Tiempo en Regeneración(min)
9	9	10

La implementación del sistema automatizado no solo optimizó los tiempos de deshidratación, sino que también mejoró la eficiencia energética del proceso. Al reducir la intervención física, se minimizan los errores, lo que da como resultado un proceso más fluido y fiable. Esto permite un mejor aprovechamiento de los recursos y contribuye a la sostenibilidad operativa.

Conclusiones

La implementación de un controlador lógico programable obtuvo como resultado una reducción del tiempo de deshidratación de 30 %, lo cual genera una variedad de resultados positivos:

- Deshidratación de mayor volumen en un menor tiempo.
- Mejor aprovechamiento del tamiz molecular.
- Reducción de consumo energético para un volumen mayor.
- Mayor seguridad para el operador.
- Mejor manejo del producto volátil final.
- Reducción de tiempo de aprendizaje del proceso al operario.
- Mayor visión de mejoras a implementar en el diseño de las columnas.

Implementar un ambiente SIEMENS dentro de la planta piloto permitirá, en un futuro cercano, la incorporación de un sistema SCADA para todos los procesos de obtención de etanol incluyendo la sección de segunda generación. Este sistema podrá gestionar completamente la planta de 2G desde el cuarto de control hasta supervisar todos los procesos de manera remota a través de WiFi desde cualquier parte del mundo. Esto abrirá la puerta a un mayor número de oportunidades de estudio y, al mismo tiempo, reducirá significativamente el consumo energético total de la planta piloto, lo que se traducirá en una disminución de la huella de carbono del Instituto Tecnológico de Veracruz.

Referencias

AUTYCOM (2024). Plc.

Becerra Terán, V. F. and Loyola Cisneros, J. L. (2020). Diseño e implementación de un algoritmo pid discreto para aumentar los lazos de control en controladores lógicos programables.

Beltran, M. (2022). Harnessing wind power: Advancements in renewable energy. *International Journal of Sustainable Energy*, pages 78–92.

Bennett, S. and Farmer, D. (2008). Industrial pneumatic technology. *Cengage Learning*.

Bolton, W. (2015). Programmable logic controllers. *Pearson*.

Castro, J. (2011). Perspectivas de la demanda energética global. *Petrotecnia*, 1:54–70.

Conesa Morató, P. (2019). Automatització d'una planta de producció de bioetanol. B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.

Czitrom, A. and Spieß, A. (2018). Optical sensors: Basics and applications. *Wiley-VCH*.

Dorf, R. C. and Bishop, R. H. (2016). Modern control systems. *Pearson*.

Duffie, N. A. and Hall, A. D. (2015). Introduction to programmable logic controllers. *Cengage Learning*.

Europea, C. (2023). Energy efficiency in buildings: Towards nearly zero energy buildings. *Brussels: European Commission*.

FAO (2022). Bioenergy and climate change mitigation: An overview. *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

Fraden, J. (2010). Handbook of modern sensors: Physics, designs, and applications. *Springer*.

- Galindo Mendoza, J. P. (2020). Técnicas de control avanzado para aumentar la eficiencia energética de una columna de destilación extractiva.
- Green, D. M. (2018). Solar energy: A sustainable and clean source of power. *Journal of Renewable Energy*, pages 45–58.
- Gupta, V. B. (2019). Industrial instrumentation and control. *McGraw-Hill Education*.
- Gutiérrez-González, D., Urrea-García, G., Luna-Solano, G., Cantú-Lozano, D., and Gómez-Rodríguez, J. (2020). Numerical solution of adsorption cycle in ethanol dehydration process. *Procedia Manufacturing*, 49:32–37.
- Gökçe, O. and Arda, Y. (2017). Industrial robotics. in proceedings of the 4th international conference on industrial engineering and applications. pages 439–448.
- Huang, K., Chen, L., and Zhang, X. (2020). Advances in adsorption separation technology for bioethanol dehydration.
- Hughes, A. (2016). Electrical and electronic technology. *Pearson*.
- IBER (2023). Biomass and biogas: A sustainable solution for renewable energy. *Journal of Renewable Resources*, pages 112–130.
- IEA (2022). Energy efficiency 2022: Progress and outlook. *Paris: International Energy Agency*.
- IRENA (2021). Biofuels for transport: Global potential and implications for energy and agriculture. *Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency*.
- Kupiec, K., Rakoczy, J., Komorowicz, T., and Larwa, B. (2014). Heat and mass transfer in adsorption–desorption cyclic process for ethanol dehydration. *Chemical Engineering Journal*, 241:485–494.
- Leo Avelino, G. (2019). Estudio del proceso de destilación-deshidratación de etanol a partir de sorgo dulce a nivel planta piloto.
- Lindeburg, M. R. (2012). Mechanical engineering reference manual for the pe exam. *Professional Publications, Inc*.

- Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., and Annesto, J. I. (2009). Automatas programables y sistemas de automatización.
- Mariano, E. (2021). X-elio construirá planta solar perote II en Veracruz.
- Martínez, A. C. (2017). Sistema de control de concentración en torre de destilación binaria.
- Martínez, D. E. (2022). Geothermal energy: Advancements and opportunities. *International Journal of Sustainable Energy*, pages 45–58.
- Oliveros, J. B. (2011). *Automatización y control regulatorio de una columna de destilación extractiva a nivel planta piloto para la producción de etanol anhidro*. PhD thesis, MS thesis, Universidad Nacional De Colombia, Bogotá DC, Colombia.
- Patrouilleau, R., Lacoste, C., Yapura, P., and Casanovas, M. (2006). Perspectivas de los biocombustibles en Argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica. *INTA. Informe Final*.
- Pérez Bermúdez, I. and Garrido Carralero, N. (2011). Aspectos a tener en cuenta en la operación de un sistema de deshidratación de alcohol por tamices moleculares. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, pages 57–63.
- Rachmayanti, A., Putri, R. M. S., and Ilhamdy, A. F. (2019). Separate saccharification and fermentation for bioethanol production from raw seaweed *Sargassum* sp. *Marinade*, 2(01):19–28.
- Rehg, J. A. and Sartori, M. A. (2016). Programmable logic controllers. *Cengage Learning*.
- Silva, R., Coutinho, J. A. P., and Crespo, J. G. (2018). Pervaporation in bioethanol production: A review. *Journal of Membrane Science*, pages 332–349.
- Simo, M., Sivashanmugam, S., Brown, C. J., and Hlavacek, V. (2009). Adsorption/desorption of water and ethanol on 3A zeolite in near-adiabatic fixed bed. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(20):9247–9260.
- Smith, D. J. (2021). Hydroelectric power: A reliable and environmentally friendly energy source. *Renewable Energy Reviews*, pages 115–130.
- Uyazán, A. M., Gil, I. D., Aguilar, J., Rodríguez, G., and Caicedo, L. A. (2004). Deshidratación del etanol. *Ingeniería e investigación*, 24(3):49–59.

Valdés, H. (2016). Ethanol dehydration by azeotropic distillation. en d. ramjugernath (ed.). *Distillation - Advances from Modeling to Applications*, pages 141–162.

Viakable (2022). Central eólica la venta ii.

Anexo I

Artículo de Investigación publicado y Reconocimiento por presentación de cartel en la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, 2024.



XLV

Encuentro Nacional de la AMIDIQ

*La Inteligencia Artificial en la
Ingeniería Química:
Pasado, Presente y Futuro*

Ciudad de México a viernes, 1 de marzo de 2024

Estimado(a) autor(a) de contacto

Agradecemos sinceramente su interés por participar en el XLV Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). Por este conducto nos complace informarle que su trabajo:

AUTOMATIZACIÓN DE COLUMNAS DE UN DESHIDRATADOR DE ETANOL A BASE DE ZEOLITAS EN UNA PLANTA PILOTO DE BIOETANOL UTILIZANDO PLC

ID:113

Cuyos autores son:

Guillermo Efrén Ovando Chacon, Mario Díaz González, Abelardo Rodríguez Leon, Javier Gómez Rodríguez, Jorge Alejandro Campos Castro.

Ha sido aceptado para su presentación en la sesión de **INGENIERÍA DE PROCESOS, SIMULACIÓN Y CONTROL** en la modalidad **CARTEL**

Para ser acreedor de la constancia de participación se requiere que al menos uno de los autores esté inscrito, y que el trabajo haya sido efectivamente presentado. Para que el trabajo sea publicado en las memorias del congreso, es necesario cumplir con los criterios anteriores y haber enviado su trabajo en extenso. En fechas posteriores podrá consultar el programa completo en nuestra página web www.amidiq.com para conocer el día y hora precisa de su presentación. Recuerde que tiene hasta el 22 de marzo para sustituir el resumen de dos páginas por su trabajo en extenso en la plataforma OpenConf y que al menos uno de los autores del trabajo deberá estar inscrito al evento a más tardar el 22 de marzo para ser incluido en el programa final.

A nombre de la AMIDIQ le agradecemos una vez más su participación y esperamos tener la oportunidad de saludarlo durante el evento.

Atentamente

COMITÉ TÉCNICO

XLIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ A.C.

COMITÉ DIRECTIVO 2023-2025

Nelly Ramírez Corona
PRESIDENTA

Fernando I. Gómez Castro
VICEPRESIDENTE

Sara Núñez Correa
SECRETARIA

Aida Alejandra Pérez
Fonseca
TESORERA

Adela Irmene Ortiz López
VOCAL DE INVESTIGACIÓN

Antioco López Molina
VOCAL DE DOCENCIA

XLV Encuentro Nacional de la AMIDIQ

AUTOMATIZACIÓN DE COLUMNAS DE UN DESHIDRATADOR DE ETANOL A BASE DE ZEOLITAS EN UNA PLANTA PILOTO DE BIOETANOL UTILIZANDO PLC

Jorge Alejandro Campos Castro^a, Guillermo Efrén Ovando Chacón^a, Mario Díaz González^a, Abelardo Rodríguez León^a,
Javier Gómez Rodríguez^a

^a Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Veracruz, Calz Miguel Ángel de Quevedo 2779, Veracruz, Veracruz, CP 91897, México. M22020030@veracruz.tecnm.mx

Resumen

Dentro del Instituto Tecnológico de Veracruz se encuentra la Planta Piloto de Bioetanol de segunda generación, en la cual se lleva a cabo la producción de bioetanol que destaca como biocombustible al aumentar el octanaje de las gasolinas para mejorar la eficiencia de la combustión y así reducir la emisión de los gases tóxicos y contaminantes a la atmósfera, el proceso de obtención del biocombustible consta de distintas etapas; molienda, fermentación, destilación, deshidratación, entre otras. La etapa de deshidratación cuenta con un equipo que consta de dos columnas de deshidratación a base de zeolitas naturales mexicanas. Este equipo se encuentra con instrumentación limitada y es operado manualmente. El presente trabajo tiene como objetivo optimizar la obtención de alcohol anhidro mediante la automatización para que el proceso sea seguro, interactivo y fácil de operar, teniendo control de la supervisión de los parámetros de operación. La metodología utilizada para este trabajo se basa en trabajos anteriores, los cuales nos dan la factibilidad de automatizar el equipo de deshidratación y pasar de un proceso no instrumentado a una interfaz amigable con el operador.

Introducción

La explotación indiscriminada de los combustibles fósiles ha generado el deterioro del medio ambiente y la escasez de este recurso a escala mundial, por lo cual se ha llegado a la necesidad de explorar diferentes alternativas, ya que el 90 % de la energía que se consume en el mundo es obtenida a través de fuentes no renovables [1].

El empleo del etanol como combustible ha experimentado un crecimiento significativo en el ámbito de las fuentes energéticas alternativas, dado su origen en una materia prima biológica renovable. Se caracteriza por ser no corrosivo, no tóxico y por mejorar el rendimiento de las gasolinas convencionales [2]. A pesar de esto, la planta piloto de Bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz, enfrenta un estancamiento en los avances y estudios asociados al etanol. Este obstáculo se atribuye a la carencia de la implementación de métodos de automatización en las torres de deshidratación, componentes cruciales en la producción de etanol.

La Planta Piloto de Bioetanol, al ser una réplica a escala del funcionamiento de las plantas industriales, está equipada con todo el equipo necesario para la producción de bioetanol. Sin embargo, los procesos son manejados de forma manual por varios operadores, quienes suelen ser principalmente estudiantes y están involucrados durante periodos cortos de tiempo. La falta de una interfaz amigable para el operador, que guíe paso a paso el proceso, resulta en largos tiempos de capacitación, pérdida de interés y baja productividad.

El proceso para la obtención de bioetanol consta de diferentes etapas, el presente trabajo se enfoca en la parte de deshidratación para la obtención de alcohol anhidro mostrado en la figura 1.

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.



La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A. C.

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Guillermo Efrén Ovando Chacón, Mario Díaz González, Abelardo Rodríguez León, Javier Gómez Rodríguez, Jorge Alejandro Campos Castro

Por la presentación del trabajo

AUTOMATIZACIÓN DE COLUMNAS DE UN DESHIDRATADOR DE ETANOL A BASE DE ZEOLITAS EN UNA PLANTA PILOTO DE BIOETANOL UTILIZANDO PLC

En el área de **INGENIERÍA DE PROCESOS, SIMULACIÓN Y CONTROL** en modalidad **CARTEL**

ID:113

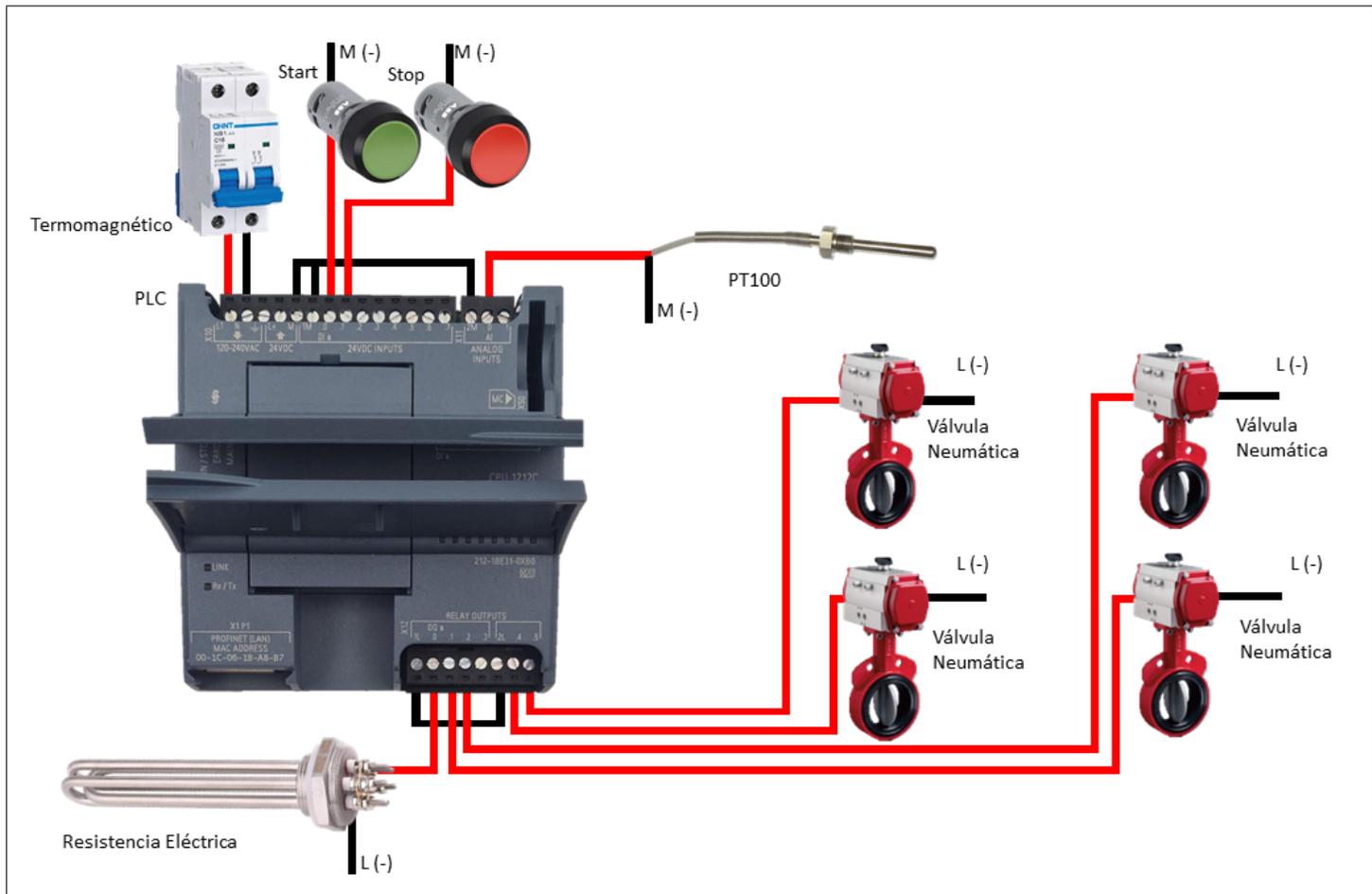
Dr. Eduardo Salvador Pérez Cisneros
Presidente
Comité Organizador UAM

Dra. Nelly Ramírez Corona
Presidenta
Consejo Directivo de la AMIDIQ

Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia
Presidente
Comité Técnico

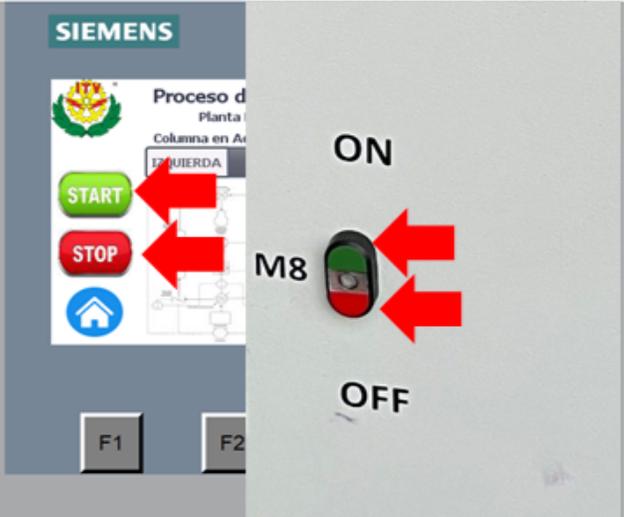
Anexo II

Diagrama Eléctrico PLC.

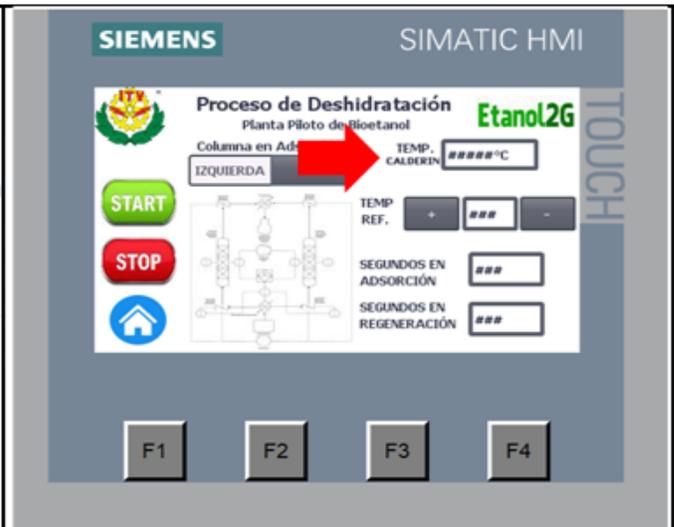


Anexo III

Manual de operación del PLC

PROCEDIMIENTO	IMAGEN
<p>1.- Como pantalla de inicio, tenemos el nombre del proceso a trabajar que es el "Proceso de Deshidratación Planta Piloto de Bioetanol", antes de comenzar el proceso debemos verificar que todos los componentes se encuentren energizados, de igual manera el calderin debe estar lleno del alcohol al 96% y el deposito receptor de alcohol anhidro completamente sellado para no humedecer el producto en la recolecta</p>	 <p>The image shows the SIMATIC HMI interface. At the top, it says 'SIEMENS SIMATIC HMI'. The main screen displays the process name 'Proceso de Deshidratación Planta Piloto de Bioetanol' and 'Etanol2G'. Below the text is a photograph of the plant with a yellow roof. A red arrow points to a 'COMENZAR' button at the bottom of the screen. At the very bottom of the HMI panel, there are four physical buttons labeled F1, F2, F3, and F4.</p>
<p>2.- En la pantalla se muestra un boton de Start y Stop los cuales tienen la función de comenzar o detener todo el proceso no importando en la etapa en la que se encuentre, a su vez cuenta con botones fisicos con una luz led indicadora de estado, el cual servira en casi de que la pantalla se encuentre sin funcionar correctamente.</p>	 <p>This image is a close-up of the physical buttons on the HMI panel. On the left, there are three touch-sensitive buttons: a green 'START' button, a red 'STOP' button, and a blue home button. Red arrows point to each of these. To the right of the touch buttons is a physical emergency stop button labeled 'M8', which is a red mushroom-shaped button with a green indicator light. Red arrows point to the 'M8' button. Below the 'M8' button, the words 'ON' and 'OFF' are printed. At the bottom of the panel, there are two physical buttons labeled F1 and F2.</p>

3.- En la parte superior de pantalla se visualiza la temperatura en tiempo real del calderin, esta solamente es para visualizar y no controlar, la lectura es mandada mediante el PT100 a la entrada analogica del PLC, por lo cual si se visualizan lecturas incongruentes, revisar la conexión analogica.



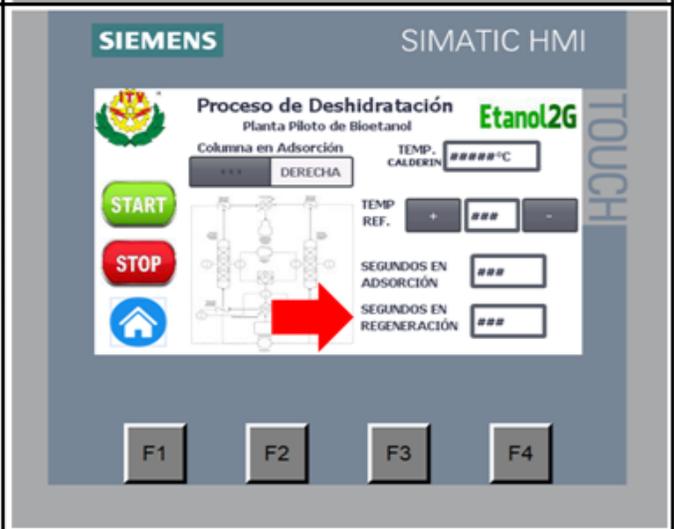
4.- Temp. Ref. hace referencia a "Temperatura de Referencia" que en ingles hace referencia al Set point, los botones de menos y más son para el ajuste de la temperatura deseada en el calderin, en este proceso se utiliza una temperatura de 80 grados Celsius para volatilizar el alcohol, pero se pueden experimentar con diferentes temperaturas dependiendo del grado de alcohol de la mezcla.



5.- Actualmente el tiempo de proceso de adsorción es diferente del de regeneración, por el cual necesitamos visualizar el tiempo de cada etapa por separado, este apartado muestra en tiempo real los segundos restantes de la etapa, este tiempo puede ser modificado en el código del PLC.



6.- De la misma manera que el punto no. 5, se tiene el apartado del tiempo de la etapa de regeneración, de igual manera se puede manipular el tiempo en el código del PLC.



Anexo III

Vista de dispositivos y variables en TIA PORTAL

Variables PLC									
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario	
1	ARRANQUE	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Boton Fisico de Arranque	
2	ARRANQUE HMI	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Boton Arranque HMI	
3	PARO	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Boton Fisico Paro	
4	PARO HMI	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Boton Paro HMI	
5	PT100	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor de Temperatura	
6	ContactoColumnIzq	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Valvula Neumatica Izquierda Superior e Inferior	
7	ContactoColumnDer	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Valvula Neumatica Derecha Superior e Inferior	
8	On/Off	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida de Encendido o Apagado	
9	SalidaPIDanalog	Int	%MW2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bits de salida del PID	
10	ActivarPID	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	On/Off PID	
11	Columna2	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Marca Temporizador	
12	Reinicio	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Marca Temporizador	
13	ResistenciaCalderin	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Resistencias Electricas	
14	LedOn	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Led de la botonera	

