

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación del sistema de automatización para la
columna de extracción líquido-líquido del Laboratorio de
Operaciones Unitarias de La Universidad del Valle de
Guatemala

Trabajo de graduación presentado por José Bernardo Fuentes
Paniagua para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Electrónica

Guatemala,

2018

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



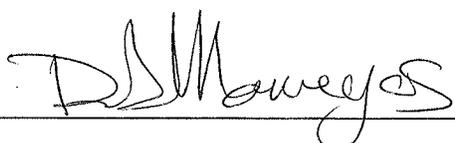
Implementación del sistema de automatización para la
columna de extracción líquido-líquido del Laboratorio de
Operaciones Unitarias de La Universidad del Valle de
Guatemala

Trabajo de graduación presentado por
José Bernardo Fuentes Paniagua
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Electrónica

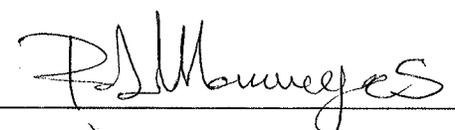
Guatemala,

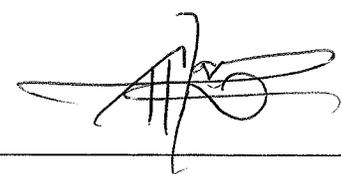
2018

Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

(f) 
MSc. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) 
MSc. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Fecha de aprobación: 18 de Junio del 2018

ÍNDICE

Lista de cuadros	ix
Lista de figuras	x
Resumen	xi
I.Introducción	1
II.Objetivos.....	3
A. General	3
B. Específicos.....	3
III.Justificación	5
IV.Marco teórico	7
A. Proceso de extracción líquido-líquido	7
B. Columna de extracción líquido-líquido	8
C. Elementos de diseño.....	9
V.Antecedentes	19
VI.Metodología	23
A. Investigación	23
B. Diseño	24
C. Implementación y automatización	31
VII.Resultados	33
VIII.Discusión.....	41

IX.Conclusiones.....	45
X.Recomendaciones	47
XI.Bibliografía	49
XII.Anexos	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características del éter dietílico como disolvente para el proceso de extracción.....	13
Cuadro 2. Cronograma de actividades.	23
Cuadro 3. Listado del equipo para el sistema de automatización.	33
Cuadro 4. Listado de señales de entrada del sistema.	34
Cuadro 5. Listado de señales de salida del sistema.	34
Cuadro 6. Listado de variables de memoria del sistema.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descripción general del proceso de extracción líquido-líquido.....	7
Figura 2. Torre de pulverización.	9
Figura 3. Diagrama triangular equilátero del proceso de extracción líquido-líquido.....	10
Figura 4. Diagrama rectangular del proceso de extracción líquido-líquido.	11
Figura 5. Panel de control de columna de extracción líquido-líquido.	19
Figura 6. Parte frontal del panel con transmisores de conductividad y pH.	20
Figura 7. Variador de frecuencia.....	20
Figura 8. Bomba dosificadora.	21
Figura 9. Motor trifásico con agitador.....	21
Figura 10. Columna de extracción del Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	22
Figura 11. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID de la columna de extracción líquido-líquido.	25
Figura 12. Panel de control principal de la columna de extracción.....	27
Figura 13. Puerta del panel de control principal de la columna de extracción líquido-líquido.....	28
Figura 14. Panel de control secundario de la columna de extracción líquido-líquido.....	29
Figura 15. Diagrama de flujo de la columna de extracción líquido-líquido.....	30
Figura 16. Calibración de sensor de conductividad.....	37
Figura 17. Calibración de sensor de conductividad en modo concentración.	38
Figura 18. Calibración de sensor de pH.....	38
Figura 19. Pantalla de la interfaz gráfica para la columna de extracción.....	39
Figura 20. Rutina principal del programa del PLC.	51
Figura 21. Rutina del agitador del programa del PLC.	54
Figura 22. Rutina de la bomba dosificadora de éter del programa del PLC.	56
Figura 23. Rutina de la bomba dosificadora de ácido acético del programa del PLC.....	58
Figura 24. Rutina de los sensores del programa del PLC.....	60

RESUMEN

El siguiente trabajo trata acerca de la actualización del sistema de automatización para la columna de extracción líquido-líquido, uno de los múltiples equipos utilizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química de La Universidad del Valle de Guatemala. La automatización de este equipo ha sido desarrollada anteriormente en otros proyectos, pero el equipo se encuentra fuera de operación debido al constante uso y la falta de mantenimiento.

La columna de extracción es un proceso útil para la separación de componentes en una mezcla líquida, con el fin de separar productos con ciertas características. Es una herramienta útil para el aprendizaje del proceso de extracción líquido-líquido y el equipo relacionado a la automatización del proceso.

La actualización de la máquina se realizará en base a un trabajo de graduación previo sobre el diseño de un sistema de control automático para la columna de extracción líquido-líquido. El diseño incluye información acerca de diagramas eléctricos, cables, sensores y otros componentes. Se hizo una revisión de los componentes del diseño para verificar que sean los adecuados y funcionen de forma óptima. De igual forma, se revisó la instalación existente para verificar sus óptimas condiciones y que se puedan utilizar en el nuevo diseño.

Se programó un controlador lógico programable, el cual utiliza sensores y demás equipo disponible para automatizar el proceso de extracción. Este también sirve para proveer información la cual, en conjunto con una interfaz gráfica, proveerá a los estudiantes un entorno de uso fácil de la máquina y datos de medición del proceso.

I. INTRODUCCIÓN

El laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta con distintos equipos utilizados para realizar prácticas mediante las cuales los estudiantes elaboran diversos procesos químicos básicos en la industria. Estos equipos sirven como una herramienta experimental para aplicar sus conocimientos y les da un acercamiento al ambiente industrial en el que pueden llegar a desarrollar sus carreras. La automatización de estos equipos se ha ido realizando en varias etapas, buscando simplificar los procesos y facilitar el uso del equipo para los estudiantes.

Este trabajo trata sobre la actualización del sistema de automatización de columna de extracción líquido-líquido, la cual sirve para extraer un producto dentro de una mezcla de líquidos utilizando un disolvente basado en las solubilidades de los líquidos. El proceso puede utilizar distintos disolventes en base a la mezcla que se trabajará, en este caso se usará una mezcla de agua y ácido acético, y éter como disolvente, con lo cual se busca la separar el agua del ácido acético.

El equipo utiliza bombas dosificadoras para la distribución del ácido acético y el éter, un motor para activar un agitador dentro de la columna, y múltiples sensores para la medición de conductividad y pH de los líquidos involucrados en el proceso. Actualmente, varios componentes de la máquina se encuentran inhabilitados debido a problemas de mantenimiento relacionado a las automatizaciones anteriores. La actualización del sistema de automatización constará de la restauración del equipo previamente instalado, la adición de sensores para protección del sistema y la implementación de una nueva interfaz de trabajo para el equipo.

La primera parte del trabajo consistió en la investigación del proceso, con lo cual buscaremos aprender acerca del proceso de extracción, los materiales involucrados en el mismo y el equipo necesario para la automatización. La segunda parte consistió en la revisión e implementación del equipo y el diseño del programa para controlar el equipo. Luego se programó un controlador lógico programable y una interfaz gráfica para el proceso.

El trabajo concluyó en un sistema de automatización para la torre de extracción que consiste en dos bombas dosificadoras y un motor, los cuales se pueden manejar de forma automática y manual. El sistema también posee tres sensores de conductividad, un sensor de pH, y dos sensores de nivel, los cuales sirven para obtener mediciones de los líquidos utilizados en el proceso. Este también cuenta con una interfaz gráfica, mediante la cual los estudiantes pueden controlar el modo de trabajo del equipo, la velocidad de las bombas y el motor, y observar la información obtenida de los sensores.

II. OBJETIVOS

A. General

Actualizar un sistema de automatización para la columna de extracción líquida-líquida del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala basados en un diseño previo.

B. Específicos

1. Determinar si el equipo y conexiones eléctricas requeridos en el diseño funcionan de manera óptima.
2. Actualizar la instrumentación electrónica para la medición de conductividad y nivel de líquido para el proceso de la columna de extracción.
3. Programar un sistema de automatización en un controlador lógico programable para la columna de extracción líquido-líquido.
4. Implementar una interfaz gráfica para control y monitoreo del sistema de automatización.

III. JUSTIFICACIÓN

La automatización industrial implica la implementación de instrumentos como sensores, actuadores, entre otros; y aplicaciones de software para elaborar un sistema para controlar un proceso industrial. Mediante la automatización obtenemos múltiples ventajas sobre procesos manuales como aumento en producción y reducción de costos.

En la industria de procesos químicos la extracción líquido-líquido, también conocida como extracción con disolventes, trata sobre la separación de componentes de una solución líquida. El ácido acético y el éter forman parte de los líquidos utilizados en el proceso, los cuales requieren de herramientas adecuadas para la medición de sus características y la correcta dosificación del mismo.

Debido al constante uso del equipo y la falta de una rutina adecuada de mantenimiento, varios componentes del sistema han cesado de funcionar correctamente. Por ello, el proceso se ha vuelto a realizar manualmente, con lo que se requiere de mayor tiempo para completar las prácticas, más personas para controlar los procesos y un uso menos efectivo de los materiales. Mediante la implementación del sistema de automatización se obtendrá una herramienta sencilla de usar para los estudiantes; la cual no sólo simplificará el proceso, sino que también servirá para el aprendizaje acerca de la industrialización de estos procesos.

El objetivo principal del trabajo será actualizar el sistema de automatización de la columna de extracción líquido-líquido, el cual se basará en diagramas y materiales diseñados en un trabajo de graduación anterior. Se revisará el diseño para asegurar que cuenta con las características adecuadas para realizar los procesos.

Se implementarán sensores con los cuales se podrá obtener mediciones de forma eficiente, además de una herramienta útil para diagnóstico del proceso. Se restaurarán las bombas y motor, con lo cual se espera proveer mayor control en el manejo de las sustancias. También se implementará una interfaz gráfica con la cual se podrán observar datos de medición y control de los procesos relacionados. Con esto se proveerá a los estudiantes una herramienta que facilitará el proceso de extracción, aumentará la productividad de los estudiantes y contribuirá al proceso de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Proceso de extracción líquido-líquido

Mientras que la destilación se aprovecha de las diferentes volatilidades –es decir, las diferentes distribuciones de un producto en la fase líquida y gaseosa–, la extracción líquido-líquido se base en distintas solubilidades –es decir, las diferentes distribuciones de un producto en dos fases líquidas coexistentes. (De Dietrich, 2018)

Por tanto, para la extracción de un producto (puntos blancos) del denominado licor de alimentación (líquido azul con puntos blancos), es necesario hallar un disolvente adecuado (líquido amarillo). El primer paso de un proceso de extracción es el mezclado con el fin de crear un contacto intenso de las dos fases líquidas que permita la transferencia de masa del producto (puntos blancos) desde el licor (azul) de alimentación al disolvente (amarillo). El segundo paso es la separación de fases o la decantación de las dos fases líquidas. Tras la extracción del producto, el licor de alimentación se denomina refinado (líquido azul con menos puntos blancos), mientras que el disolvente que contiene el producto se denomina extracto (líquido amarillo con puntos blancos). Para la recuperación del producto, el disolvente ha de separarse del producto en un tercer paso subsiguiente que se realiza generalmente por destilación. (De Dietrich, 2018)

Figura 1. Descripción general del proceso de extracción líquido-líquido.



(De Dietrich, 2018)

El disolvente deberá comprobarse con respecto a las siguientes características:

- Solubilidad máxima del producto en el disolvente
- Solubilidad mínima del disolvente en el refinado
- Solubilidad mínima del líquido de alimentación en el disolvente
- Separación rápida de fases del extracto desde el refinado
- Fácil separación del producto a partir del extracto/disolvente

Con el disolvente adecuado es posible realizar numerosas aplicaciones convenientemente mediante un proceso de extracción, tal como se describe a continuación. (De Dietrich, 2018)

El proceso de extracción líquido/líquido es conveniente para separaciones de:

- Productos de volatilidades similares
- Productos que forman azeótropos
- Productos cuya destilación requiere un gran consumo de energía
- Productos sensibles a la temperatura
- Productos no volátiles, tales como sales metálicas (De Dietrich, 2018)

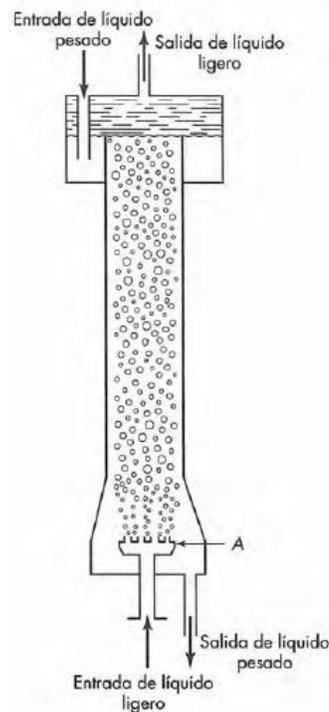
B. Columna de extracción líquido-líquido

Estos extractores de torre operan con contacto diferencial y no por etapas, de modo que la mezcla y sedimentación tienen lugar de forma simultánea continua. En la torre de pulverización que se presenta en la figura el líquido menos denso se introduce por el fondo y se distribuye en pequeñas gotas por medio de las boquillas A. Las gotas de líquido ligero ascienden a través de la masa del líquido más pesado que desciende por la torre como una corriente continua. Las gotas se recogen en la parte superior y forman la corriente del líquido más ligero que sale por la parte superior de la torre. El líquido más pesado sale por el fondo de la torre. (Vásquez, 2013)

Hay una transferencia continua de materia entre las fases, y la composición de cada fase varía a medida que circula por la torre. A cualquier nivel dado, el alejamiento del equilibrio es la que proporciona la fuerza impulsora para la transferencia de materia. La velocidad de transferencia de es relativamente baja en comparación con la absorción o la destilación y una columna alta puede ser equivalente a solo unas pocas etapas ideales. (Vásquez, 2013)

En torres reales de pulverización, el contacto entre las gotas y la fase continua con frecuencia es más efectiva en la región en donde se forman las gotas. Esto se debe a una mayor velocidad de transferencia de materia en las gotas recientemente formando o a retromezclado de la fase continua, en cualquier caso, el aumento de la altura no conduce a un aumento proporcional del número de etapas; es mucho más efectivo redispersar las gotas a intervalos frecuentes a lo largo de la torre. Esto puede realizarse llenando la torre con empaquetados, tales como anillos o monturas. (Vásquez, 2013)

Figura 2. Torre de pulverización.



(Vásquez, 2013)

C. Elementos de diseño

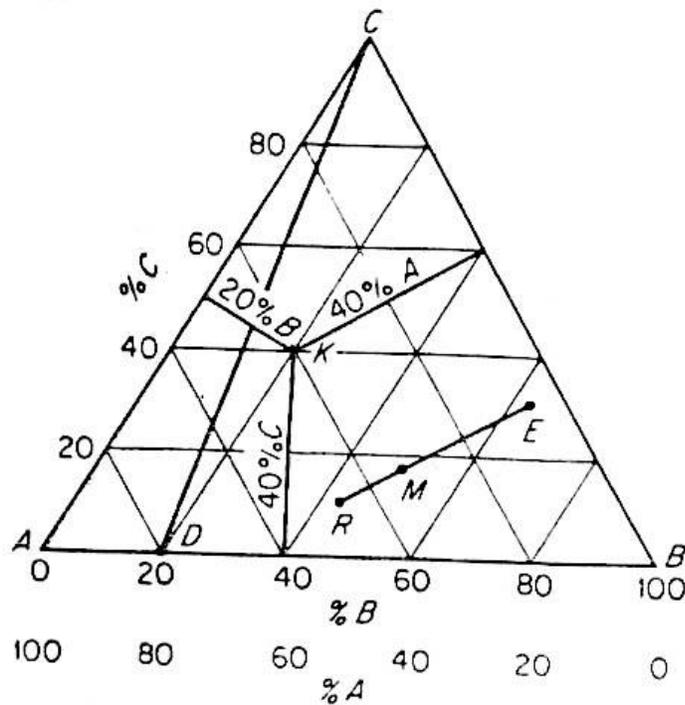
1. Regla de las fases

En general un sistema líquido-líquido tiene tres componentes A, B y C, y dos fases en equilibrio. Sustituyendo en la regla de las fases, los grados de libertad son 3, y las variables son temperatura, presión y las cuatro concentraciones. (Hay cuatro concentraciones porque solo es posible especificar dos de las tres concentraciones de fracciones de masa en una fase.) La tercera completa el total de las fracciones de masa a un valor de 1.0, $x_A + x_B + x_C = 1.0$. Cuando se fijan la presión y la temperatura, que es el caso usual entonces, en equilibrio, el sistema queda fijo al establecer una concentración a cualquier fase. (Vásquez, 2013)

2. Coordenadas triangulares y datos de equilibrio

Las coordenadas triangulares equiláteras se usan con mucha frecuencia para representar los datos de equilibrio de un sistema de tres componentes, puesto que se tienen tres ejes. Cada uno de los tres vértices representa un componente puro, A, B o C. El punto M representa una mezcla de A, B y C, la distancia perpendicular desde el punto M hasta la base AB representa a la fracción de masa x_C de C en la mezcla en el punto M; la distancia a la base CB es la fracción de masa x_A de A, y la distancia de AC es la fracción de masa x_B de B. (Vásquez, 2013)

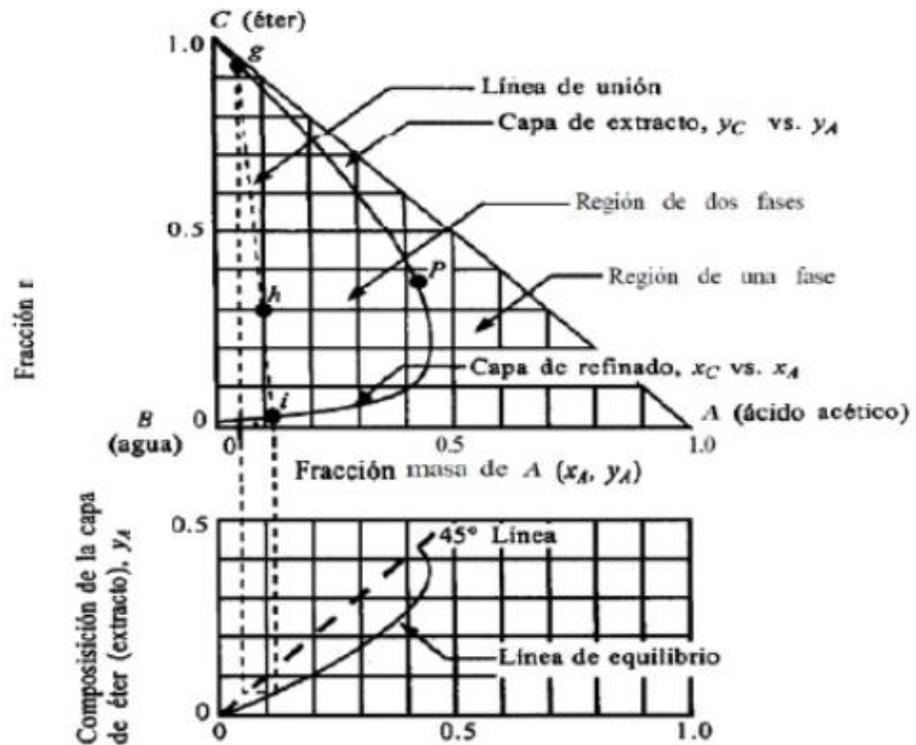
Figura 3. Diagrama triangular equilátero del proceso de extracción líquido-líquido.



3. Datos de equilibrio en coordenadas rectangulares

Los diagramas triangulares tienen ciertas desventajas debido a las coordenadas especiales, por lo cual un método más útil para graficar los datos de los tres componentes consiste en el empleo de coordenadas rectangulares. (Vásquez, 2013)

Figura 4. Diagrama rectangular del proceso de extracción líquido-líquido.



4. Disolvente y solución

En una operación de extracción líquido-líquido se denomina alimentación a la disolución cuyos componentes se pretende separar, disolvente de extracción al líquido que se va a utilizar para separar el componente deseado, refinado a la alimentación ya tratada y extracto a la disolución con el soluto recuperado.

- Alimentación o solución: mezcla de líquidos miscibles en la cual se encuentra contenido el soluto de interés y es de dónde se extraerá el mismo.
- Disolvente: líquido que interactúa con los componentes de la alimentación y propicia la separación.
- Extracto: es el producto de la operación rico en solvente y pobre en soluto.
- Refinado: el líquido residual de donde se separó el soluto, contiene mayor cantidad de soluto y en menor cantidad solvente. (Chacón, 2017)

Para seleccionar el disolvente para el proceso de extracción, se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Selectividad: La efectividad del disolvente B para separar los componentes de una solución A y C, se mide comparando la relación entre C y A, en la fase rica en B con esa relación en la fase rica en A en el equilibrio.
- Coeficiente de distribución: Este coeficiente es la relación entre y/x en el equilibrio. Mientras que no es necesario que el coeficiente de distribución sea mayor de 1, los valores grandes resultan más adecuados, puesto que se requerirá menos disolvente para la extracción.
- Insolubilidad del disolvente: El más insoluble es el más útil ya que si la capacidad del disolvente para extraer es pequeña se requerirán grandes cantidades de disolvente.
- Recuperabilidad: Siempre es necesario recuperar para volverlo a utilizar; generalmente, la recuperación se hace mediante otra de las operaciones de transferencia de masa, la destilación.
- Densidad: Es necesaria una diferencia en las densidades de las fases líquidas que se forma, tanto para la operación con equipo por etapas como de contacto continuo. Cuanto mayor sea la diferencia mejor.
- Baja viscosidad: Permite mejor manejo.
- Tensión interfacial: Baja tensión interfacial promueve la dispersión de una fase en otra.
- Tensión superficial: Alta tensión superficial para evitar dispersión de las fases.
- Reactividad química: El disolvente debe ser estable e inerte químicamente frente a los demás componentes del sistema y frente a los materiales comunes de construcción.
- Viscosidad, presión de vapor y punto de congelamiento: Deben ser bajos para facilitar el manejo y el almacenamiento.
- El disolvente debe ser no tóxico, no inflamable, de bajo costo y de fácil recuperación del mismo. (Vásquez, 2013)

Existen distintos disolventes comúnmente utilizados en los procesos de extracción líquido-líquido. Ya que la aplicación en esta torre de extracción será para extraer ácido acético en una solución con agua. Por esta razón, el disolvente que se utilizó fue el éter, ya que es uno de los disolventes como menor densidad que el agua. (Chacón, 2017)

Cuadro 1. Características del éter dietílico como disolvente para el proceso de extracción.

Nombre	Fórmula	Densidad (g/mL)	Punto de ebullición (°C)	Peligrosidad
Éter dietílico	(CH ₃ CH ₂) ₂ O	0.7	35	Muy inflamable, tóxico.

(Chacón, 2017)

Con el éter, se quiere extraer ácido acético de una solución con agua, de esta forma, la torre de extracción simulará la purificación de agua contaminada. (Chacón, 2017)

5. Componentes electrónicos

Para poder realizar una columna de extracción de la forma de pulverización con agitación, se utilizan componentes de materiales específicos para que estos no se consuman por los fluidos que se manejan. El éter y el ácido acético son sustancias tóxicas y corrosivas para ciertos materiales. Todos los materiales en los componentes deben ser acero inoxidable y plásticos especiales. Los componentes utilizados son los siguientes:

a. **Sensor de conductividad.** La conductividad es una característica importante en este tipo de procesos, es una magnitud que da cuenta de la capacidad de transporte de corriente eléctrica de un electrolito en disolución. Esta depende del electrolito y del disolvente.

Para normalizar la medida de la conductividad, se introduce la magnitud conductividad molar (Λ), definida como:

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c}$$

Donde:

- κ es la conductividad específica en S cm⁻¹
- c es la concentración molar en mol L⁻¹, y
- Λ es la conductividad molar en S cm² mol⁻¹

Ya que esta característica es importante, se utiliza un sensor de conductividad con su transmisor e indicador para obtener la conductividad de la alimentación o solución, el disolvente, el extracto y el refinado. (Chacón, 2017)

El sensor de conductividad que se utiliza es marca ABB modelo TB465E010002 con su respectivo transmisor de conductividad de la misma marca y modelo TB82.

Este sensor es de 4 electrodos que se sumergen en el fluido de interés. El dato medido por este sensor es procesado por el transmisor y se obtiene como un valor analógico. La alimentación es de 24V DC. (Chacón, 2017)

b. Interruptor de nivel. El interruptor de nivel que se utiliza, lleva un guardanivel para poder procesar el dato obtenido y manejar un valor binario en la computadora. Este es de la marca Schneider Electric y el modelo es RM35LM33MW. El guardanivel que se utiliza es un relay que se activa cuando el interruptor de nivel detecta el nivel de fluido deseado.

En la columna de extracción de la forma de pulverización con agitación, se detecta el nivel bajo en los tanques de éter y de ácido acético, esto con el propósito de que las bombas dosificadoras no succionen aire de los tanques cuando estos se vacíen. Estos guardaniveles son alimentados con 24V DC. (Chacón, 2017)

c. Bomba dosificadora. Las bombas dosificadoras son bombas volumétricas oscilantes. Aspiran un volumen de líquido exactamente definido con la carrera de retorno del desplazador y lo introducen en la tubería de dosificación con la carrera de impulsión. Los ajustes de las bombas son variables para conseguir una dosificación exacta constante.

Las bombas dosificadoras utilizadas en la industria son de la marca LMI Milton Roy modelo B731-362SI. Estas son alimentadas con 120V AC, tienen adaptabilidad máxima, es un modelo programable y de carrera regulable. Ya que son de dosificación proporcional, son manejadas con valores analógicos para cambiar la frecuencia de dosificación de las mismas. (Chacón, 2017)

d. Motor trifásico. El motor trifásico es una máquina eléctrica rotativa, capaz de convertir la energía eléctrica trifásica suministrada, en energía mecánica. Este motor es el agitador de la columna, se acopla un eje central al eje del motor trifásico y este sube y baja dentro de la columna para agitar la solución y el solvente y de esta forma poder transportar el soluto al solvente de mejor manera.

La alimentación de este motor es de 120V AC y es manejado por un variador de frecuencia para variar las velocidades de agitación y obtener un mejor resultado en el proceso de extracción. (Chacón, 2017)

e. **Variador de frecuencia.** El variador de frecuencia es un regulador industrial que está en medio de la alimentación eléctrica y el motor. Este regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y un 70%.

El variador reduce la potencia de salida del agitador mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior de la necesaria. El variador de frecuencia utilizado es marca Allen-Bradley modelo Power Flex 40. Los variadores Power Flex 40 proporciona un control de motores que permite mejorar el rendimiento de la aplicación. Incluyen control vectorial sin sensores para satisfacer demandas de par a baja velocidad. (Chacón, 2017)

f. **PLC Allen-Bradley Micrologix 1100.** El controlador MicroLogix 1100 añade mayor conectividad y cobertura. Puede realizarse edición en línea y contiene un puerto EtherNet/IP de 10/100 Mbps para mensajes entre dispositivos de la misma familia. Tiene instalada una pantalla de cristal líquido donde muestra el estado del controlador, el estado de las entradas y salidas y mensajes de operador. Además, permite modificar los datos de entrada y salida e interactuar con el programa de control, y actúa como pareja de potenciómetros de ajuste digital para realizar cambios y ajustes en un programa.

Entre sus ventajas sobre otros controladores programables de la misma familia se encuentra el puerto EtherNet/IP para transmisión de mensajes con conectividad de alta velocidad entre los controladores, con la capacidad de acceder, monitorear y programar desde cualquier lugar con una conexión Ethernet. Adicionalmente, trae un puerto combinado RS-232/RS-485 que proporciona distintos protocolos de red. (Chacón, 2017)

También tiene la edición en línea donde es posible hacer modificaciones de un programa mientras este en ejecución. Esto permite realizar el ajuste fino de un sistema de control en funcionamiento además de que facilita la resolución de problemas en un tiempo reducido. Tiene un servidor web incorporado que permite al usuario configurar datos desde el controlador y verlos como una página web.

El controlador Micrologix 1100 tiene 10 entradas digitales, 6 salidas digitales y 2 entradas analógicas con la capacidad de añadir módulos digitales, analógicos, de RTD y de termopar para adaptar el controlador a la aplicación. Acepta entradas y salidas de expansión, pueden ser hasta cuatro de los módulos de entradas y salidas 1762, de esta manera se tiene mayor flexibilidad de aplicación y compatibilidad.

Este controlador está enfocado para aplicaciones SCADA RTU, envasado y manejo de materiales. Es apropiado para monitoreo remoto y para aplicaciones que requieren uso intenso de memoria pero con pocas señales de entradas y salidas. (Chacón, 2017)

6. Software

a. **RSLogix 500.** La familia RSLogix de programación lógica está destinado a la creación de programas del PLC en lenguaje escalera (ladder) y son compatibles con IEC-1131 y ayuda a maximizar el rendimiento, ahorrar tiempo de desarrollo del proyecto y mejorar la productividad. Incluye editor de ladder y verificador de proyectos (creación de una lista de errores) entre otras opciones. Esta familia de software ha sido desarrollada para operar en Microsoft Windows. RSLogix 500 es el primer software de programación PLC que ofrece gran productividad además de una interfaz de usuario líder en la industria, soportando los procesadores Allen-Bradley SLC 500 y MicroLogix. (Chacón, 2017)

Los paquetes de programación de RSLogix son compatibles con programas creados basados en DOS de Rockwell Software para los procesadores SLC 500 y MicroLogix. Esto facilita el mantenimiento del programa en las plataformas de hardware. Entre los beneficios de RSLogix 500 se encuentran:

- Información de referencia cruzada
- Edición de arrastrar y soltar
- Diagnóstico
- Comunicaciones fiables
- Edición de bases de datos
- Informes (Chacón, 2017)

b. **RSLinx Classic.** RSLinx Classic es un software de redes y dispositivos de Rockwell Automation que proporciona una solución para comunicaciones industriales que puede utilizarse en los sistemas operativos siguientes:

- Microsoft Windows XP, XP SP1 o XP SP2
- Microsoft Windows Server 2003 SP1 o R2
- Microsoft Windows 200 SP4
- Microsoft Windows Vista Business (32 bits) y Vista Home Basic (32 bits)

Este software permite al controlador programable de la marca Allen-Bradley a acceder a una gran variedad de aplicaciones de Rockwell Software y de la misma empresa de controladores Allen-Bradley. Entre las aplicaciones que se pueden acceder se incluyen desde aplicaciones de configuración y programación tales como RSLogix y RSNetWorx hasta aplicaciones HMI (interfaz operador-máquina) como RSView32, hasta sus propias aplicaciones de adquisición de datos mediante Microsoft Office, páginas Web o Visual Basic®. (Rockwell Automation, 2008:3)

Adicionalmente, este software utiliza métodos de optimización de datos avanzadas y provee una serie de diagnósticos. La interfaz de programación de aplicaciones (API) admite aplicaciones personalizadas creadas con RSLinx Classic SDK. RSLinx Classic es un servidor compatible con OPC Data Access y un servidor DDE. (Chacón, 2017)

c. FactoryTalk View Studio. El software FactoryTalk View Studio es un software de configuración para desarrollar y probar aplicaciones FactoryTalk View Site Edition. Contiene editores para crear aplicaciones completas y para probar las mismas sin importar la complejidad de estas. También se puede utilizar para configurar servicios de FactoryTalk Security para las aplicaciones desarrolladas.

FactoryTalk View Studio es un software de configuración para desarrollar aplicaciones a nivel de máquina. Este software se ejecuta en los sistemas operativos siguientes:

- Windows 7 SP1
- Windows 8
- Windows 8.1
- Windows 10
- Windows Server 2008 R2 SP1
- Windows Server 2012 (Chacón, 2017)

El software incluye las siguientes herramientas:

- Application Documenter: software que proporciona información detallada de las aplicaciones de FactoryTalk.
- Application Manager: software para renombrar, copiar, eliminar, realizar copias de seguridad y restaurar aplicaciones.
- DeskLock: software que evita que los usuarios del Windows cierren la aplicación FactoryTalk View mientras se encuentra la aplicación en ejecución. Se puede configurar un escritorio personalizado y evitar el acceso a las funciones de Windows.

- FactoryTalk View File Viewer: software para visualizar los siguientes tipos de archivos de registro:
 - Archivos de datos SE
 - Archivos de datos ME
 - Archivos de registro de alarmas ME
 - Archivos dBase
 - Archivos de ME RecipePlus
- Legacy Tag Database Conversion: software para convertir la base de datos de etiquetas heredadas en un nuevo formato para trabajar con la base de datos de Microsoft SQL.
- Software para exportar e importar una base de datos de etiquetas FactoryTalk View. (Chacón, 2017)

V. ANTECEDENTES

La columna de extracción líquido-líquido ha formado parte de los distintos equipos automatizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. El último proyecto de automatización elaborado en la máquina fue realizado en el 2011, perteneciendo a la tercera fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Desde ese proyecto, no se ha realizado una actualización al sistema del equipo. Debido a la falta de una rutina de mantenimiento el equipo empezó a presentar problemas, cesando de funcionar en el año 2017. No se pudo realizar reparaciones debido a la falta de diagramas eléctricos, documentación sobre la programación y personal calificado para trabajar con controladores programables lógicos.

En este mismo año, se realizó un trabajo de graduación que comprendía el diseño de un sistema de automatización para la columna de extracción, basándose en el equipo existente. El trabajo consiste en elaborar un listado de componentes para implementar el sistema, diagramas eléctricos y colores para facilitar el mantenimiento del equipo y un esquema del funcionamiento de la máquina.

Figura 5. Panel de control de columna de extracción líquido-líquido.



Figura 6. Parte frontal del panel con transmisores de conductividad y pH.



Figura 7. Variador de frecuencia.



Figura 8. Bomba dosificadora.



Figura 9. Motor trifásico con agitador.

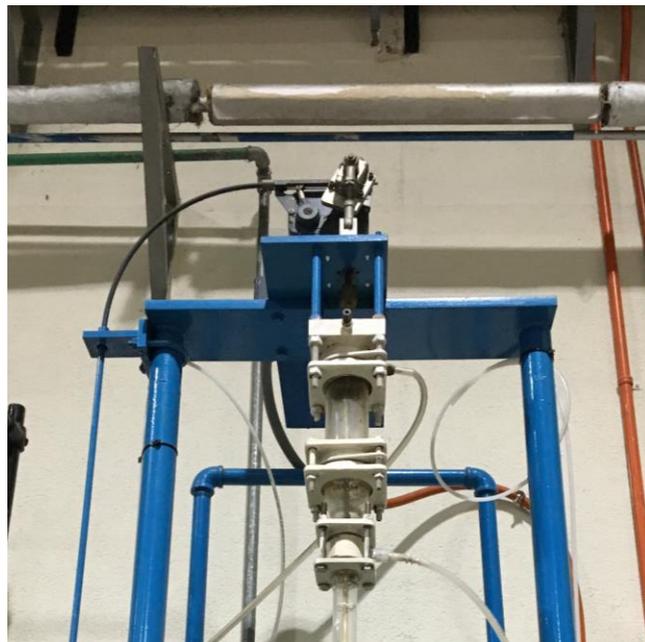


Figura 10. Columna de extracción del Laboratorio de Operaciones Unitarias.



VI. METODOLOGÍA

El proyecto se dividió en tres fases: investigación, diseño e implementación. Para trabajar eficientemente se establecieron fechas en las cuales se elaboraría cada fase del proyecto, las cuales se describen en el siguiente cronograma. Este inicia el 15 de enero, para concluir con resultados y el trabajo escrito el 2 de abril.

Cuadro 2. Cronograma de actividades.

Semana (s)	Mes	Actividad
15 al 21	Enero	Investigación acerca del proceso de extracción y el funcionamiento de la columna de extracción líquido-líquido
22 al 28	Enero	Revisión y prueba del equipo y componentes electrónicos
29 al 4	Enero y Febrero	Montaje del equipo y componentes electrónicos
5 al 18	Febrero	Programación e implementación del controlador lógico programable
19 al 11	Febrero y Marzo	Programación de la interfaz gráfica e implementación con el controlador lógico programable
12 al 25	Marzo	Elaboración de pruebas
26 al 1	Marzo y Abril	Entrega de trabajo final

A continuación, se describen las distintas partes que componen cada fase del proyecto.

A. Investigación

1. Proceso de extracción líquido-líquido

Se investigó acerca del proceso de extracción líquido-líquido, buscando comprender los pasos y materiales involucrados en el proceso. Se consultó con los ingenieros encargados de la columna para obtener información específica de materiales que utiliza su equipo, así como la forma en que ellos desean que trabaje la máquina para implementar la automatización.

2. Componentes de la columna de extracción líquido-líquido

Con la información de los materiales y pasos relacionados al proceso de extracción, se investigó acerca del equipo a utilizar en la máquina. Debido a que nos basamos en un diseño elaborado anteriormente, se investigó si los equipos listados en el diseño eran los adecuados. El equipo consiste en sensores, actuadores, transmisores, bombas y motor.

La investigación trató principalmente acerca del material del equipo, verificando que fuera el adecuado para el fluido con el que iban a trabajar. También se investigó acerca del funcionamiento de los equipos y cómo utilizarlos con el controlador lógico programable.

3. Software

Se investigó los distintos programas necesarios para programar el PLC y la interfaz gráfica. El PLC que se utiliza pertenece a la familia de productos Rockwell, el cual ofrece programas para trabajar específicamente con su equipo.

- a. RS Logix 500: Software para programar el PLC utilizando lenguaje Ladder.
- b. FactoryTalkView Studio: Software para diseñar una interfaz gráfica para utilizar en conjunto con un PLC.
- c. RS Linx Classis: Software para establecer una conexión entre un ordenador y el PLC. Se utiliza, en conjunto con los programas anteriormente mencionados, para poder mandar comandos al PLC por medio de una interfaz gráfica.

B. Diseño

Debido a que el trabajo está basado en un diseño elaborado anteriormente, se procedió solo a verificar los diagramas y componentes otorgados en el diseño. El diseño provee lo siguiente: listado de componentes, listado de señales, diagrama de proceso e instrumentación, diagrama eléctrico unifilar, esquema de los paneles de control y un diagrama de flujo del proceso.

1. Listado de componentes

Se revisó la lista de componentes propuestos por el diseño, verificando que el modelo y fabricante fueran los indicados en el diseño. También se verificó que los componentes cumplieran con los requisitos necesarios para trabajar con los fluidos utilizados en el equipo, ya que los líquidos utilizados pueden corroer los componentes.

2. Listado de señales

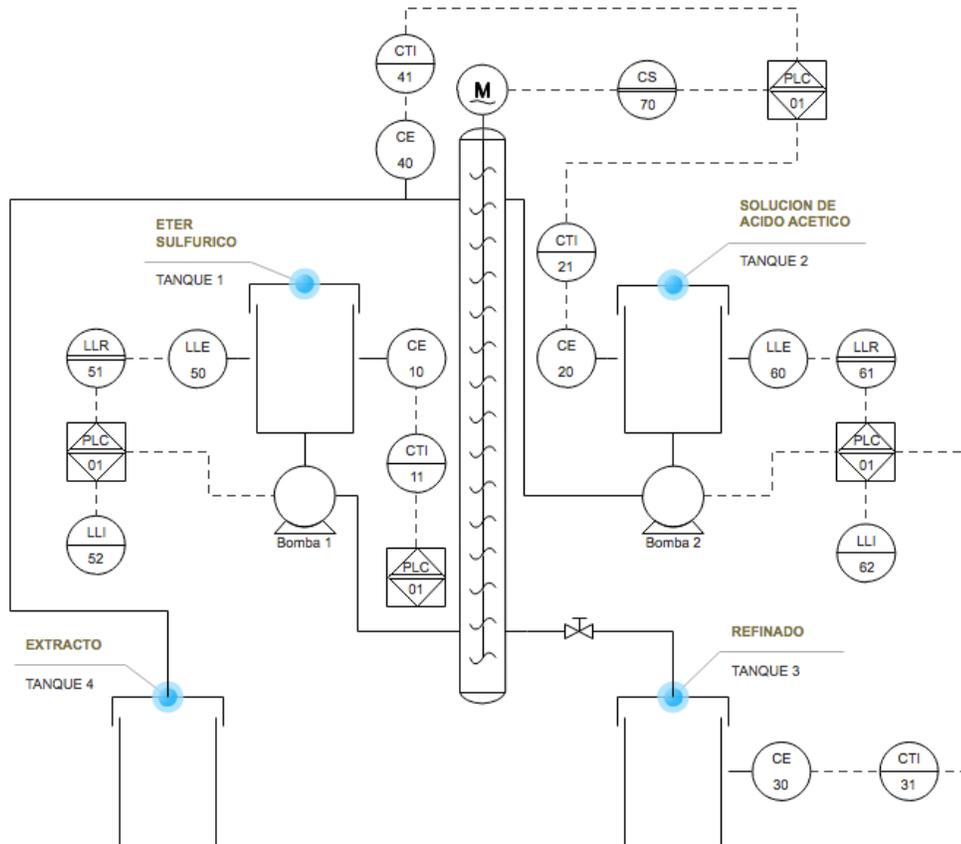
Se revisó la lista de señales analógicas y digitales para trabajar con el PLC, para verificar que hubiera suficientes módulos disponibles para la cantidad de señales necesarias.

Esto se realizó para asegurar que habría suficientes señales para trabajar cada uno de los componentes del sistema, lo cual también sirvió para ordenar las variables a programar en el PLC.

3. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID

Se revisó el diagrama de proceso e instrumentación P&ID, verificando que los sensores y demás componentes estén ubicados correctamente en la columna de extracción. El diagrama está elaborado bajo la norma ISA para el nombramiento de los instrumentos utilizados en la máquina.

Figura 11. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID de la columna de extracción líquido-líquido.



(Chacón, 2017)

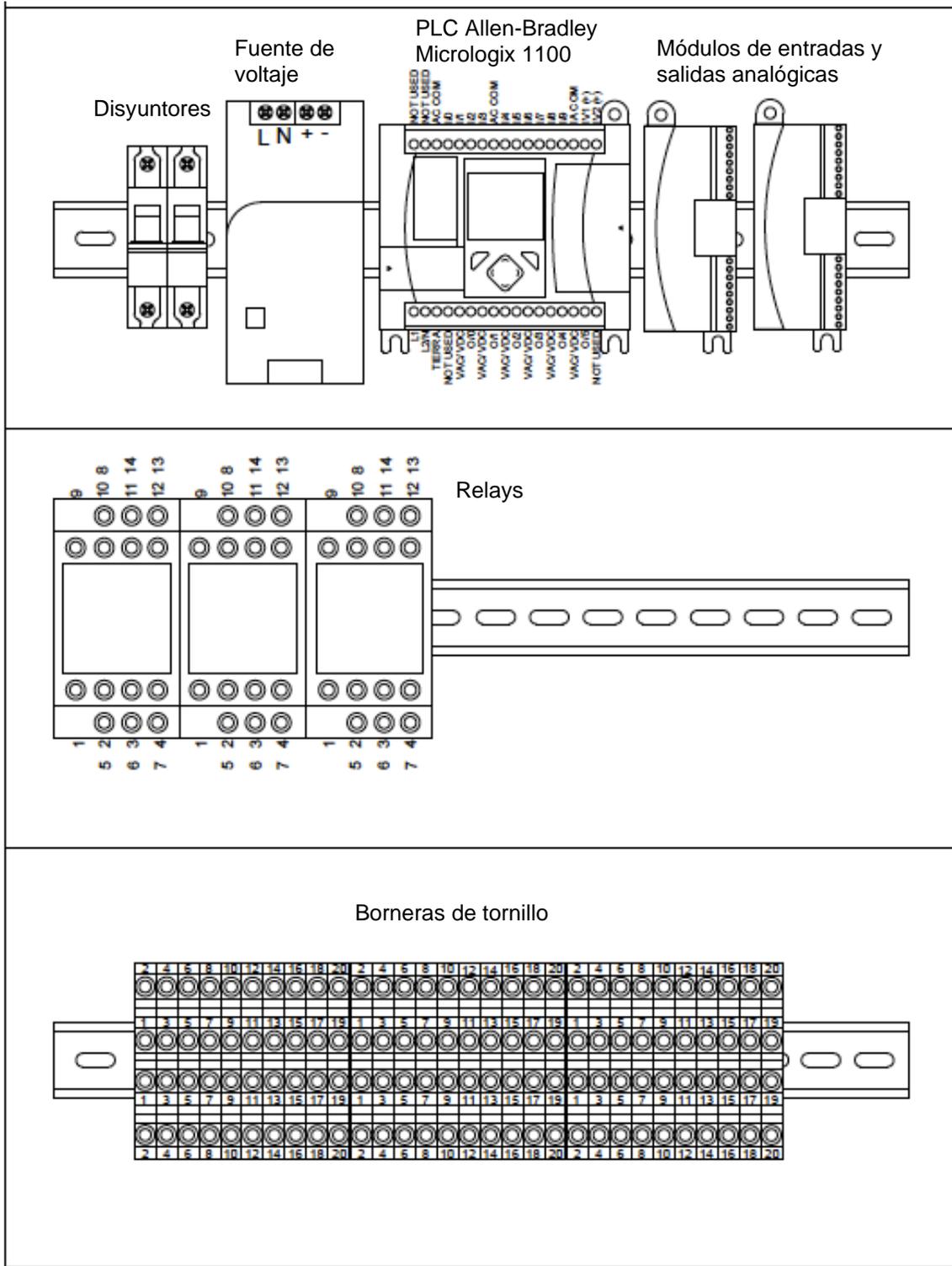
4. Diagrama eléctrico unifilar

Se revisó el diagrama eléctrico unifilar, verificando que las conexiones eléctricas sean congruentes a las establecidas en el diagrama. También se verificó que los sensores y demás equipo estuvieran conectados correctamente.

5. Esquema de panel

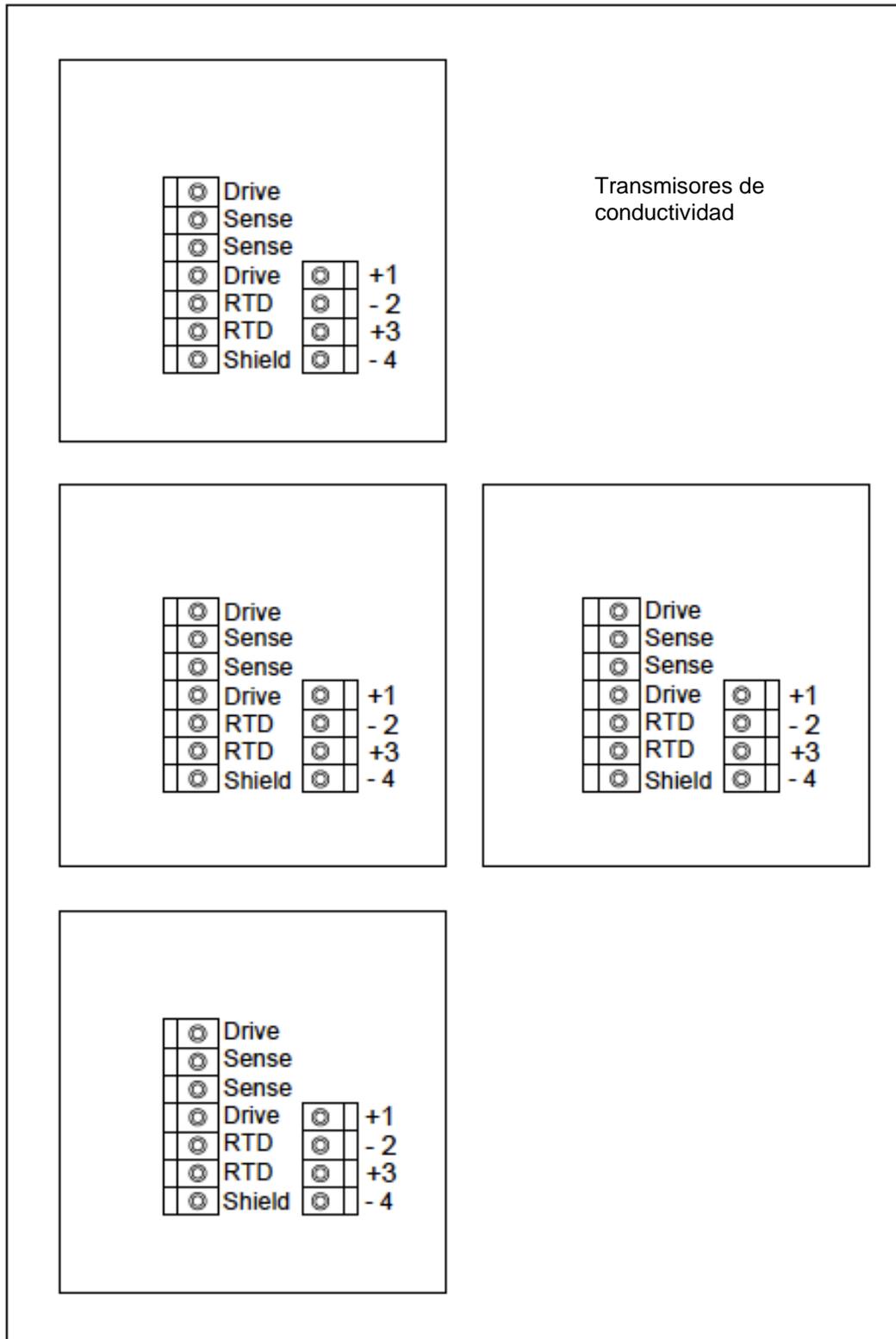
Se revisó el esquema del panel de control principal, la puerta del panel de control principal y el panel de control secundario. Se verificó que los transmisores y sensores estuvieran instalados de acuerdo con lo establecido en el diseño.

Figura 12. Panel de control principal de la columna de extracción.



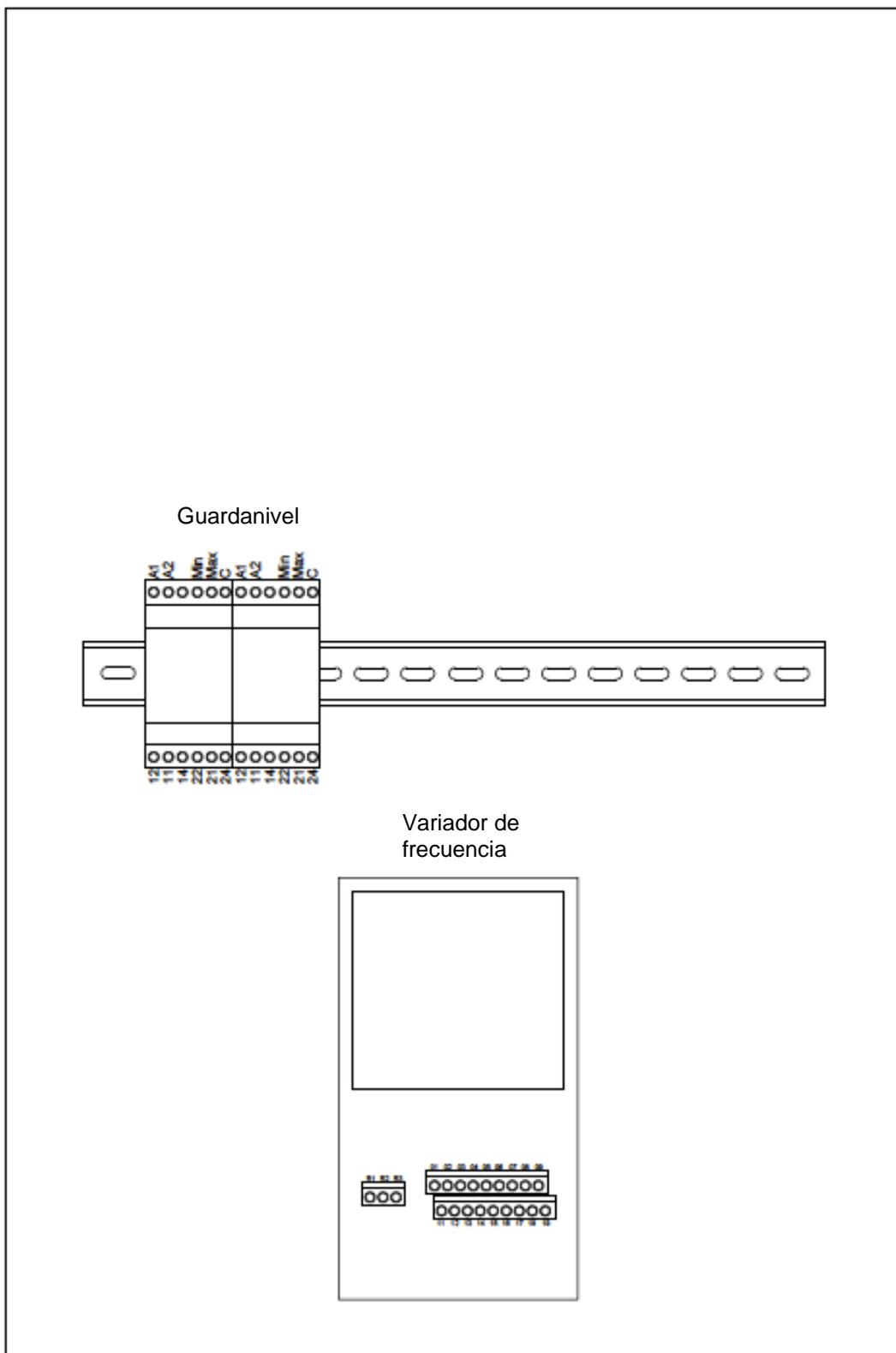
(Chacón, 2017)

Figura 13. Puerta del panel de control principal de la columna de extracción líquido-líquido.



(Chacón, 2017)

Figura 14. Panel de control secundario de la columna de extracción líquido-líquido.

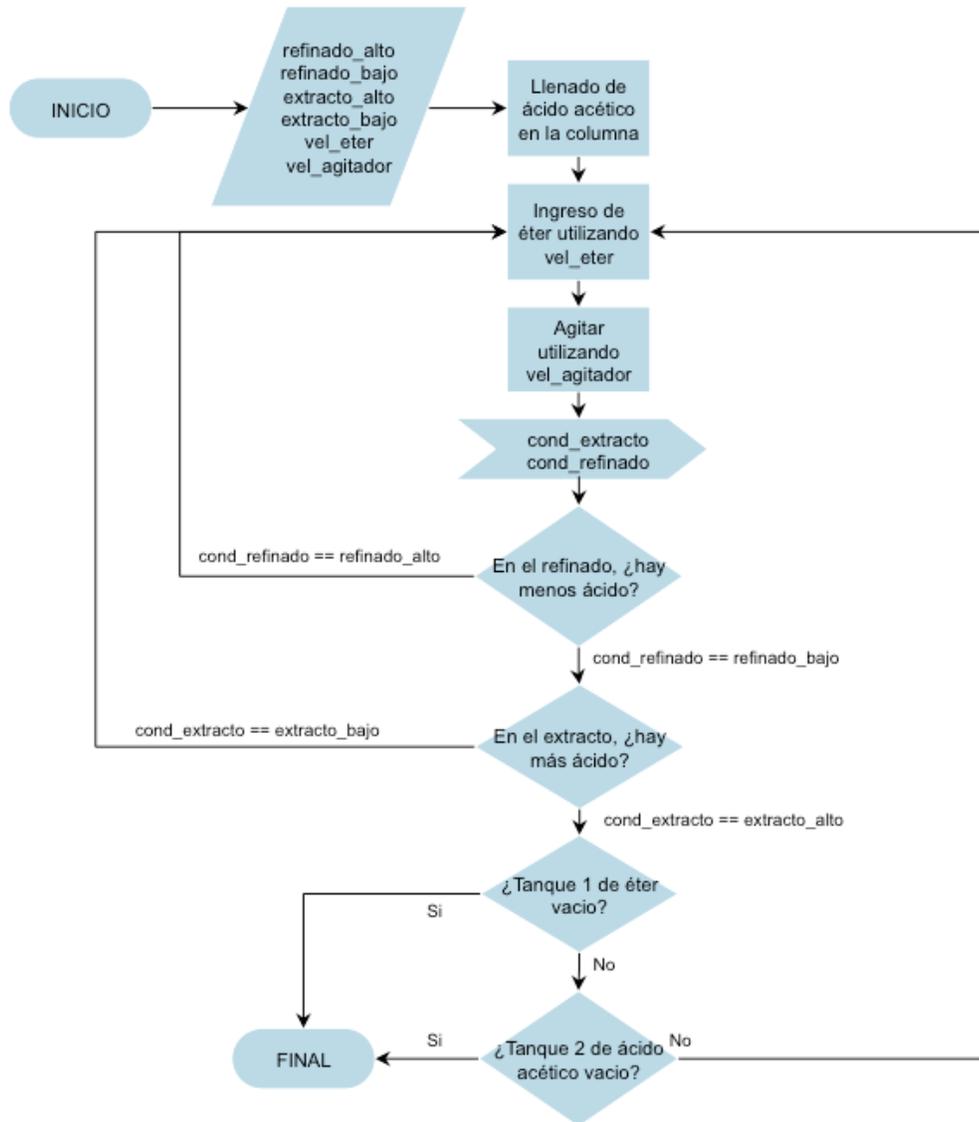


(Chacón, 2017).

6. Diagrama de flujo

Se revisó el diagrama de flujo del proceso de extracción líquido-líquido, verificando que los pasos establecidos sean los adecuados para las especificaciones establecidas para el equipo.

Figura 15. Diagrama de flujo de la columna de extracción líquido-líquido.



(Chacón, 2017)

C. Implementación del sistema de automatización

1. Montaje de componentes del equipo

Se procedió a realizar el montaje de los componentes electrónicos necesarios para la automatización de la columna de extracción. Para ello se utilizó el equipo presentado en el diseño, del cual se montaron sensores nuevos de acuerdo con el diagrama de instrumentación. También se revisó las condiciones del equipo que ya estaba instalado para verificar que estuvieran montados de manera adecuada, estos fueron bombas, motor, variador de frecuencia y otros sensores.

2. Interconexión de componentes

Al tener todo el equipo necesario para la automatización montado, se procedió a conectarlos a su respectiva entrada/salida del PLC y sus módulos. Para ello se utilizó cable de calibre 16 para conectar externamente componentes al PLC y cable de calibre 22 para conectar señales dentro del panel de control. También se verificó que conexiones previamente instaladas estuvieran conectadas de manera adecuada y sus cables no estuvieran desgastados.

3. Prueba de funcionamiento del equipo

Con el equipo montado y conectado a sus respectivas conexiones del PLC, se procedió a realizar pruebas de cada componente del sistema para verificar que funcionaran óptimamente. De igual forma, se procedió a calibrar los sensores. Esto también sirvió para caracterizar la corriente a la cual trabajan algunos componentes, ya que todos los equipos trabajan con señales de 4-20mA.

4. Programación del controlador lógico programable

Al poseer el equipo conectado y funcional, se procedió a elaborar el programa para automatizar el uso de la columna de extracción utilizando el software RsLogix 500. Esta se hizo basada en las especificaciones requeridas del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Para ello, se elaboró una tabla de variables, con las cuales identificaríamos de forma fácil las conexiones respectivas de los equipos y demás variables a utilizar en conjunto con la interfaz gráfica. El programa está dimensionado para trabajar con un modo automático y uno manual, pudiendo ajustar la velocidad del motor y las bombas. También se implementó programación defensiva para el efectivo uso del equipo.

5. Programación de la interfaz gráfica

Con el PLC funcionando óptimamente con el equipo, se procedió a programar una interfaz gráfica utilizando el software Factory Talk View Studio. Mediante la interfaz gráfica se provee de un entorno de uso fácil del equipo, simplificando la activación y manipulación de las bombas y el motor, y la visualización de las mediciones de los sensores.

6. Prueba del sistema de automatización

Con el PLC y la interfaz gráfica funcionando, se procedió a realizar pruebas del equipo utilizando líquidos. Las primeras pruebas se realizan con agua, para verificar el funcionamiento adecuado del equipo y para identificar fugas existentes en el sistema. Las siguientes pruebas constan del uso de éter y ácido acético, para verificar el correcto funcionamiento de los sensores y la respuesta del equipo en base a sus mediciones.

VII. RESULTADOS

Cuadro 3. Listado del equipo para el sistema de automatización.

Componente	Fabricante	Modelo	Descripción	Cantidad
Sensor de conductividad	ABB	TB4650E010002	Sensor para la medición de conductividad del éter, ácido y refinado.	3
Sensor de pH	-	-	Sensor para la medición de pH del extracto.	1
Bomba dosificadora	LMI Milton Roy	B731-362SI	Bombas para dosificar éter y ácido acético.	2
Sensor de nivel	G.E.	-	Sensor para medir nivel bajo de éter y ácido.	2
Guardanivel	Schneider Electric	RM35LM33MW	Receptor de señal de nivel para obtener valor binario en el PLC.	3
Variador de frecuencia	Allen-Bradley	Power Flex 40	Variador para controlar la velocidad del motor trifásico.	1
Motor trifásico	-	-	Motor para agitar la solución en la columna.	1
Disyuntor	Schneider Electric	DF101V	Disyuntores con fusibles cada uno para encender la fuente de voltaje y los módulos.	2
PLC	Allen-Bradley	MicroLogix 1100	Controlar lógico programable para restauración y automatización de la columna de extracción.	1
Transmisor de conductividad	ABB	TB82EC	Transmisor de la medición de conductividad de éter, ácido acético y refinado.	3
Transmisor de pH	ABB	TB82pH	Transmisor de la medición de pH del extracto.	1
Power Relay	Schneider Electric	Telemecanique RXM4AB2F7	Switch electromagnético para abrir y cerrar un circuito	3
Fuente de voltaje	Telemecanique	ABL 8MEM24012	Alimentación de todos los componentes en el panel.	1
Botón de paro de emergencia	-	-	Paro de emergencia para detener el proceso.	1

Continuación Cuadro 3

Componente	Fabricante	Modelo	Descripción	Cantidad
Luces indicadoras	-	-	Luces de color rojo para indicar el nivel bajo de éter y ácido acético.	2
Tanques de plástico	-	-	Tanques para almacenar éter y ácido acético a dosificar.	2
Módulo de salidas analógicas	Allen-Bradley	1782-OF4	Módulo para manejar las señales analógicas de salida del PLC.	1
Módulo de entradas analógicas	Allen-Bradley	1762-IF4	Módulo para manejar las señales analógicas de entrada del PLC.	1

El listado de anterior utiliza como base los componentes propuestos en el diseño, pero, se agregaron otros componentes que no se tomaron en cuenta en el sistema. Por lo mismo se modificó la cantidad de algunos componentes listados en el diseño.

Cuadro 4. Listado de señales de entrada del sistema.

Tipo de señal	Nombre	Valor	Descripción	Dirección PLC
Entrada digital	Nivel mínimo éter	0 - 1	Señal para indicar nivel bajo en el tanque de éter.	I:0/0
Entrada digital	Nivel mínimo ácido	0 - 1	Señal para indicar nivel bajo en el tanque de ácido acético.	I:0/1
Entrada analógica	Conductividad éter	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad en el tanque de éter.	I:1.0
Entrada analógica	Conductividad ácido	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad en el tanque de ácido acético.	I:1.1
Entrada analógica	Conductividad refinado	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad en el refinado de la columna.	I:1.2
Entrada analógica	pH Extracto	4-20 mA	Señal de la medición de pH en el extracto de salida.	I:1.3

Cuadro 5. Listado de señales de salida del sistema.

Tipo de señal	Nombre	Valor	Descripción	Dirección PLC
Salida digital	Bomba éter	0 - 1	Señal para encender y apagar la bomba dosificadora de éter.	O:0/0
Salida digital	Bomba ácido	0 - 1	Señal para encender y apagar la bomba dosificadora de ácido acético.	O:0/1

Continuación Cuadro 5

Tipo de señal	Nombre	Valor	Descripción	Dirección PLC
Salida digital	Motor agitador	0 - 1	Señal para encender y apagar el variador de frecuencia.	O:0/3
Salida analógica	Velocidad bomba éter	4-20 mA	Señal para seleccionar la velocidad de la bomba dosificadora de éter.	O:2.0
Salida analógica	Velocidad bomba ácido	4-20 mA	Señal para seleccionar la velocidad de la bomba dosificadora de ácido acético.	O:2.1
Salida analógica	Frecuencia agitador	4-20 mA	Señal para seleccionar la frecuencia del variador de frecuencia.	O:2.3

Cuadro 6. Listado de variables de memoria del sistema.

Tipo de señal	Nombre	Valor	Descripción	Dirección PLC
Memoria	Modo auto	0 - 1	Bandera de selección del modo automático.	B3:0/0
Memoria	Modo manual	0 - 1	Bandera de selección del modo manual.	B3:0/1
Memoria	Start/Stop agitador	0 - 1	Bandera de activación del motor del agitador.	B3:0/2
Memoria	Start/Stop éter	0 - 1	Bandera de activación de la bomba dosificadora de éter.	B3:0/3
Memoria	Start/Stop ácido	0 - 1	Bandera de activación de la bomba dosificadora de ácido acético.	B3:0/4
Memoria	Aumentar frecuencia agitador	0 - 1	Bandera de aumento de frecuencia del agitador.	B3:0/5
Memoria	Reducir frecuencia agitador	0 - 1	Bandera de reducción de frecuencia del agitador.	B3:0/6
Memoria	OneShotBit	0 - 1	Bandera de activación de aumento de frecuencia de agitador.	B3:0/7
Memoria	OneShotBit2	0 - 1	Bandera de activación de reducción de frecuencia de agitador.	B3:0/8
Memoria	Aumentar velocidad éter	0 - 1	Bandera de aumento de velocidad de bomba de éter.	B3:0/9
Memoria	Reducir velocidad éter	0 - 1	Bandera de reducción de velocidad de bomba de éter.	B3:0/10
Memoria	OneShotBit3	0 - 1	Bandera de activación de aumento de velocidad de bomba de éter.	B3:0/11

Continuación Cuadro 6

Tipo de señal	Nombre	Valor	Descripción	Dirección PLC
Memoria	OneShotBit4	0 – 1	Bandera de activación de reducción de velocidad de bomba de éter.	B3:0/12
Memoria	Llenado inicial	0 – 1	Bandera de activación de la dosificación inicial de ácido acético.	B3:0/13
Memoria	Llenado final	0 – 1	Bandera de activación de la dosificación de éter y ácido acético continuo.	B3:0/14
Memoria	Paro emergencia	0 – 1	Bandera de activación de paro de emergencia.	B3:0/15
Memoria	Inicio llenado ácido	0 – 1	Bandera de inicio de timer para llenado inicial de ácido acético.	T4:0/EN
Memoria	Inicio llenado éter	0 – 1	Bandera de fin de timer para llenado de éter y ácido acético continuo.	T4:0/DN
Memoria	Tiempo llenado ácido	150	Variable que contiene la duración del timer para llenado inicial de ácido acético.	T4:0.PRE
Memoria	Frecuencia agitador	6300 – 31200	Variable que contiene la frecuencia del agitador.	N9:0
Memoria	Velocidad bomba éter	6300 – 31200	Variable que contiene la velocidad de la bomba dosificadora de éter.	N10:0
Memoria	Velocidad bomba ácido	6300 – 31200	Variable que contiene la velocidad de la bomba dosificadora de ácido acético.	N11:0
Memoria	Aumentar velocidad ácido	0 – 1	Bandera de aumento de velocidad de bomba de ácido acético.	B12:0/0
Memoria	Reducir velocidad ácido	0 – 1	Bandera de reducción de velocidad de bomba de ácido acético.	B12:0/1
Memoria	OneBitShot5	0 – 1	Bandera de activación de aumento de velocidad de bomba de ácido acético.	B12:0/2
Memoria	OneBitShot6	0 – 1	Bandera de activación de reducción de velocidad de bomba de ácido acético.	B12:0/3
Memoria	OneBitShot7	0 – 1	Bandera de activación de ingreso inicial de variables para modo automático.	B12:0/4
Memoria	OneBitShot8	0 – 1	Bandera de activación de ingreso inicial de variables para modo manual.	B12:0/5
Memoria	Llenado manual	0 – 1	Bandera de activación de llenado inicial de ácido acético manual.	B12:0/6

Continuación Cuadro 6

Tipo de señal	Nombre	Valor	Descripción	Dirección PLC
Memoria	Modificar velocidad	0 – 1	Bandera de activación para la modificación de velocidades en el modo automático.	B12:0/7
Memoria	Variable éter	0 – 100	Variable de escalamiento para la velocidad de la bomba de éter.	N13:0
Memoria	Variable ácido	0 – 100	Variable de escalamiento para la velocidad de la bomba de ácido acético.	N14:0
Memoria	Inicio llenado ácido manual	0 – 1	Bandera de inicio de timer para llenado de ácido acético manual.	T15:0/EN
Memoria	Fin llenado ácido manual	0 – 1	Bandera de fin de timer para llenado de ácido acético manual.	T15:0/DN
Memoria	Tiempo llenado ácido manual	150	Variable que contiene la duración del timer para llenado de ácido acético manual.	T15:0.PRE

Figura 16. Calibración de sensor de conductividad.

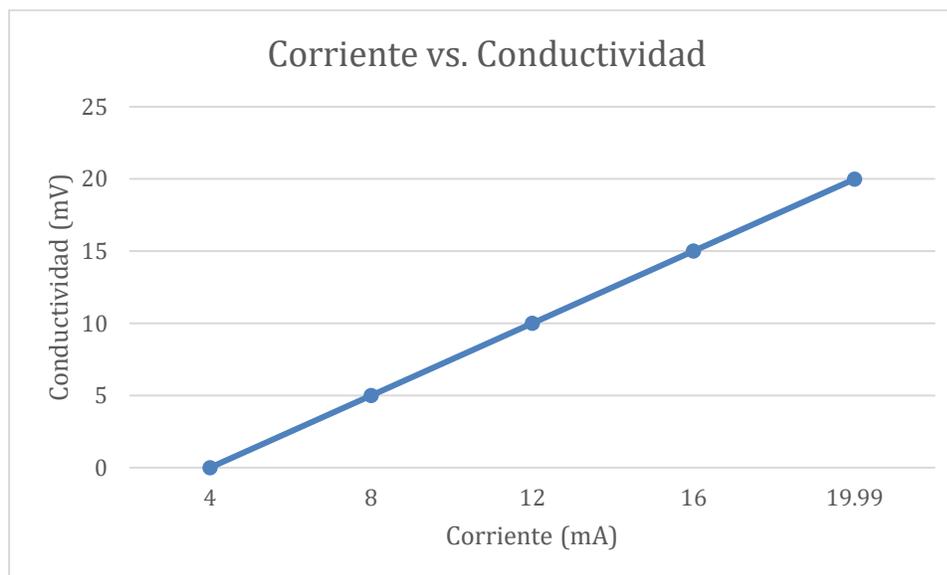


Figura 17. Calibración de sensor de conductividad en modo concentración.

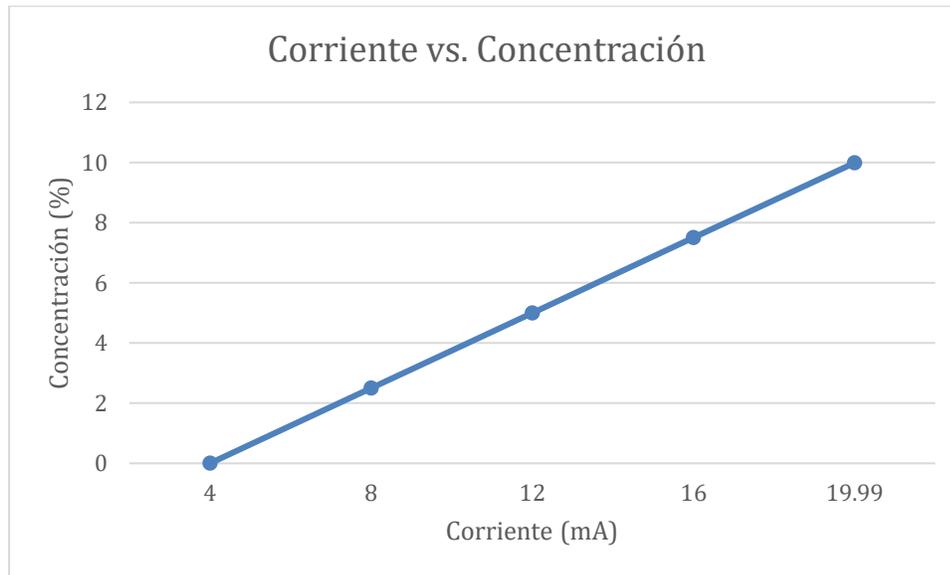
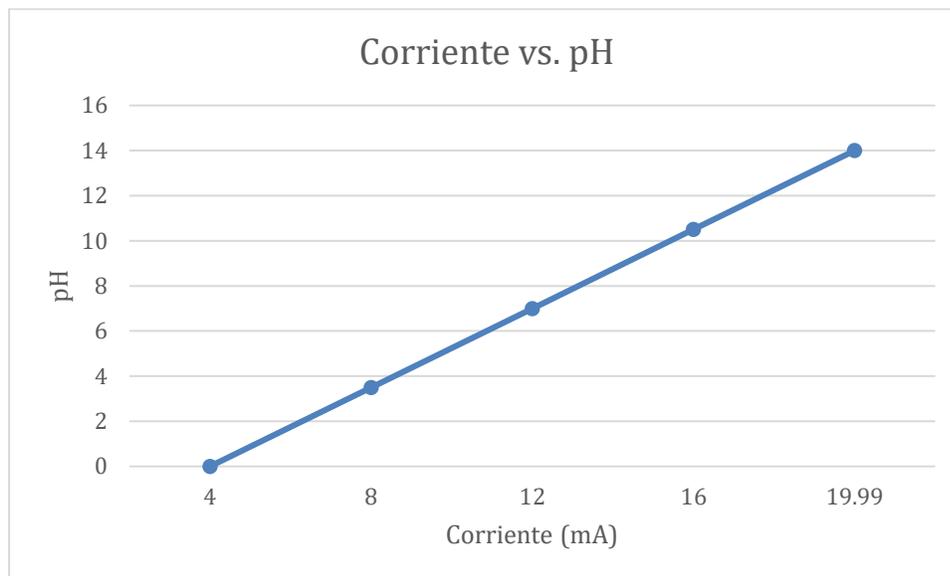


Figura 18. Calibración de sensor de pH.



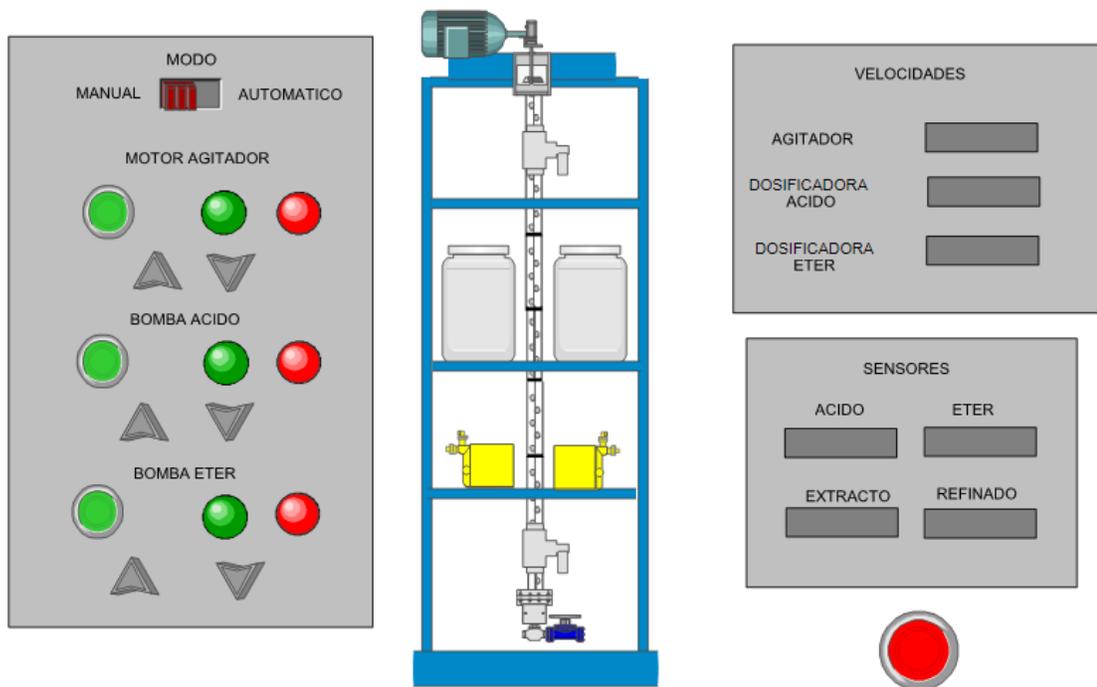
Las calibraciones se obtuvieron utilizando una de las herramientas del transmisor TB82, la cual permite escalar los valores de medición hacia su equivalente en 4mA y 20mA. Esto se complementa con el escalamiento realizado en el PLC del valor de corriente enviado por los transmisores TB82 y el valor recibido en el canal analógico del sensor, dado en un registro de 16 bits.

Cuadro 7. Lectura de sensores en canales analógicos.

Corriente (mA)	Extracto pH	Conductividad Refinado	Conductividad Éter	Conductividad Ácido Acético
4	3117	3120	3115	3116
19.99	15604	15598	15600	15548

Como se puede observar en cuadro anterior, los valores obtenidos en los canales analógicos para cada sensor son similares. Se eligió utilizar el respectivo valor de cada canal para realizar el escalamiento en la programación del PLC de acuerdo con las lecturas.

Figura 19. Pantalla de la interfaz gráfica para la columna de extracción.



La interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido consiste en tres paneles y una visualización del equipo. El primer panel posee botones para seleccionar el modo de trabajo del sistema, el encendido/apagado de las bombas y el motor, y botones para la manipulación de la velocidad de los equipos. Como se puede observar, hay un switch para elegir si se trabajará en modo manual o modo automático. El motor del agitador y las bombas dosificadores poseen un botón para encender y apagar el respectivo equipo, con un led indicativo del estado del equipo. También hay botones para aumentar o reducir la velocidad de las bombas o la frecuencia del agitador.

El segundo panel consiste en visualizaciones de los datos de velocidad de las bombas dosificadoras y la frecuencia a la que trabaja el agitador. Estas se actualizan al pulsar los botones para aumentar o reducir la respectiva variable. El tercer panel consiste en visualizaciones de los datos de los sensores, los cuales serán útiles para que los estudiantes puedan observar cómo van cambiando las mediciones conforme se mezcla el éter y el ácido acético.

VIII. DISCUSIÓN

La primera etapa del proyecto consistió en verificar el diseño en el cual nos basamos para realizar la automatización. En este proceso se leyó la documentación disponible del trabajo anterior, la cual consistía en diagramas eléctricos y de cableado. Al revisar estos se encontró que algunas conexiones no estaban conectadas al puerto indicado en el diseño, por lo que se tuvo que revisar todas las conexiones descritas en los diagramas para asegurarnos de tener los equipos conectados adecuadamente para prevenir dañar algún componente.

En la etapa de montaje se encontró que el motor y bombas dosificadoras estaban correctamente instaladas, pero debido a que estuvieron fuera de uso por un tiempo se procedió a realizar pruebas de cada equipo para verificar que funcionaran. De igual forma, se revisaron los sensores, encontrando que sólo había dos sensores instalados, uno de conductividad y uno de pH. Se realizó la conexión de dos sensores de conductividad adicionales y se procedió a revisar su calibración con su respectivo transmisor. Los sensores de flujo fueron otro de los componentes que no estaban cableados ni instalados, para lo cual se procedió a realizar la conexión y prueba respectiva para luego montarlos en los tanques de éter y ácido acético.

Para la calibración de los sensores se observó que los transmisores ofrecían la opción de limitar el valor de lectura mínimo y máximo, los cuales eran equivalentes a 4mA y 20mA de corriente de salida. Este valor constaba de cuatro dígitos y un punto decimal que se podía ubicar en medio de cualquier dígito. Debido a las limitaciones de los líquidos que se trabajan se decidió limitar los sensores de conductividad entre 0mV y 19.99mV, el sensor de conductividad en modo concentración entre 0% a 9.99%, y el sensor de pH entre 0.00 a 14.00.

Luego se verificó el estado del variador de frecuencia, el que había dejado de funcionar después de una actualización del software del PLC. Se tuvo que resetear a valores de fábrica ya que no funcionaba los botones ni el potenciómetro. Luego de reiniciarlo funcionó correctamente, con lo cual después se tuvo que configurar para que trabajara con una señal de 4-20mA. También se configuró los límites del variador para que trabaje entre 6Hz a 20Hz. Esto debido a que, si trabaja a menos de 6Hz, el eje del motor se esfuerza mucho con lo que corre peligro de poder quemarse o deformarse. La limitación de los 20Hz se debe a especificaciones del proceso, ya que arriba de esa frecuencia el motor mueve demasiado rápido el agitador con lo que puede causar que la solución no se mezcle bien.

La siguiente etapa es la programación del PLC, para la cual se realizó una tabla de variables en la cual se ordenó variables de entrada y salida del equipo, y variables de memoria. Estas variables de memoria sirven como banderas para habilitar o deshabilitar un proceso, y cómo variables para guardar datos. El programa está elaborado para que el primer paso que debe realizar el usuario es la selección del modo de trabajo: automático o manual.

El modo automático se diseñó de tal forma que, al inicializarse el equipo, se enciende la bomba dosificadora de ácido acético. Este proceso se denomina internamente como el “llenado de ácido acético automático”, el cual posee un timer de 150 segundos por los cuales trabaja la bomba al 100% de su capacidad. Ese tiempo fue calculado experimentalmente, el cual es el tiempo que le toma a la bomba dosificadora llenar la mitad de la columna de extracción de ácido acético. Esto se hace debido a que el éter no se debe dosificar en la columna si está vacía, debido a que es un líquido volátil por lo que puede reaccionar y dañar el equipo.

Luego de que transcurran los 150 segundos del timer, se procede a activar una bandera que enciende la bomba dosificadora al 100% de su velocidad, obteniendo así un sistema en que ambas bombas dosifican. Al suceder esto, también se activa una bandera que permite regular la velocidad de ambas bombas manualmente. De igual forma, el modo automático utiliza las lecturas de los sensores de conductividad y pH para determinar si la mezcla está realizándose de manera correcta. La información de los sensores también se utiliza para modificar automáticamente la velocidad de las bombas, de acuerdo con la necesidad que tenga, ya sea de aumentar o disminuir la dosis de éter y ácido acético para obtener valores adecuados de medición en el refinado y el extracto.

El motor del agitador no forma parte del sistema automático, ya que el proceso no se puede realizar totalmente de forma automática. Esto se debe a que al mezclar el éter y ácido acético se forma una capa entre las dos fases, la cual se debe ubicar a la mitad de la columna de extracción. La razón de esto es porque de esa forma se asegura que se están utilizando los recursos de forma óptima, ya que de lo contrario significa que no se está realizando una dosificación adecuada de uno de los dos componentes. Debido a esto, el agitador se maneja manualmente siempre, ya que depende de la decisión del estudiante si cree necesaria la agitación para hacer más efectiva la mezcla entre ambas fases.

El modo manual no realiza el llenado automático de ácido. Sin embargo, cuenta con un botón para realizar el llenado en el momento en que el usuario lo decida. Aunque, al finalizar el llenado de ácido acético las bombas dosificadoras no continúan trabajando como sucede en el modo automático.

En el modo manual la activación y desactivación de las bombas y el motor quedan en la decisión del usuario, de igual forma la selección de velocidad de las bombas dosificadoras y la frecuencia del variador de frecuencia.

En ambos modos existe un botón de paro de emergencia, el cual al seleccionarse apagará las bombas y el motor, e impedirá la activación de los mismos hasta que se desactive el paro de emergencia. De igual forma, el panel de control cuenta con un botón físico de emergencia, el cual al presionarse desenergiza los equipos.

Ambos modos utilizan los sensores de nivel para desactivar las bombas dosificadoras en caso de que el nivel de su respectivo tanque esté bajo. Esto también se observa en el panel de control, en el cual hay dos luces indicadoras que se encienden cuando alguno de los sensores de nivel se activa. Ambos modos también desactivan los equipos al realizar una transición entre un modo y el otro, esto para evitar que al cambiar de modo alguna bomba o el motor se queden encendidos y afecten el proceso.

La interfaz gráfica consiste en una pantalla en la que se muestra un esquema de la columna de extracción, así como botones y displays de los equipos. La interfaz implementa lo mencionado anteriormente, accionado por medio de botones que actúan como las banderas que se activan en el PLC. Esta cuenta con botones para poder activar y desactivar las bombas y el agitador, botones para aumentar o disminuir la velocidad a la que trabajan y leds para mostrar el estado actual del equipo.

De igual forma, posee botones para activar el paro de emergencia y el llenado automático de ácido acético. También provee de información de los sensores y las velocidades de los equipos. En el modo automático los botones para modificar las variables de las bombas y el motor estarán deshabilitadas hasta que se complete el llenado inicial de ácido acético. Sin embargo, hay un botón que se utiliza para desactivar el llenado automático. En el modo manual están todos los botones habilitados para que el usuario encienda y modifique el equipo a su gusto. En este modo, los cuadros donde se presenta la información de los sensores cambia de color, para indicarle al usuario que debe realizar cambios en las dosificaciones si es que el sistema considera que sus mediciones no son las adecuadas.

IX. CONCLUSIONES

- Se revisó y verificó que el equipo y conexiones eléctricas, presentadas en un diseño anterior, son las adecuadas para la columna de extracción.
- Se implementó un algoritmo de automatización en un controlador lógico programable utilizando un PLC Micrologix 1100 Allen-Bradley.
- Se programó e implementó una interfaz gráfica para control y monitoreo del sistema de automatización utilizando Factory Talk View Studio.
- Se actualizó el sistema de automatización de la columna de extracción líquido-líquido con la restauración del equipo previamente instalado, la implementación de instrumentación electrónica nueva y la elaboración de una interfaz gráfica.

X. RECOMENDACIONES

- Se recomienda reemplazar los tanques de plástico por unos de acero inoxidable, debido a que el material posee mejor resistencia ante los productos utilizados en el proceso de extracción.
- Se recomienda realizar un nuevo diseño de los tanques, en el que se puedan implementar de forma más efectiva la instrumentación electrónica, debido a que el diseño actual limita los componentes que se pueden utilizar.
- Se recomienda diseñar un método para la medición de la interfase que se forma entre el éter y el ácido acético.
- Se recomienda establecer un horario de mantenimiento para poder controlar fallas menores en el equipo y asegurar su funcionamiento por más tiempo.

XII. BIBLIOGRAFÍA

Chacón, Dulce., *et al.* 2017. *Restauración y Automatización de la Columna de Extracción Líquido-Líquido del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala*. Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 52 págs.

Rockwell Automation. 2018. SLogix 500 <http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/products/rslogix500.page#overview> [10 de febrero de 2018]

Rockwell Automation. 2008. *Una familia de controladores micro para toda aplicación y presupuesto*. Estados Unidos. 10 págs. http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/1761-br006_-es-p.pdf[18 de febrero de 2018]

Prominent. 2017. *Bombas de dosificación*. Alemania. <https://www.prominent.es/es/Products/Products/Bombas-de-dosificación/pg-metering-pumps.html> [18 de febrero de 2018]

ABB. 2017. *Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas*. España. <http://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador> [20 de febrero de 2018]

Allen Bradley. 2017. *Variadores de CA PowerFlex 40*. Estados Unidos. <http://ab.rockwellautomation.com/es/Drives/PowerFlex-40> [20 de febrero de 2018]

De Dietrich Process Systems. 2018. *Extracción Líquido-Líquido*. Francia. <https://www.dedietrich.com/es/soluciones-y-productos/extraccion/extraccion-liquido/liquido>[4 de Marzo de 2018]

Vázquez, Emilio. 2013. *Extracción Líquido-Líquido*. México. <https://es.scribd.com/doc/145484233/EXTRACCION-LIQUIDO-LIQUIDO> [4 de Marzo de 2018]

González, Mónica. 2011. *Extracción química*. Argentina. <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/extraccion-quimica> [5 de marzo de 2018]

Henley, E.J. y Seader, J.D. 1988. *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química*. Reverté, Barcelona.

Procesos Bio. 2017. *Extracción líquido-líquido*. Barcelona, España. <http://procesosbio.wikispaces.com/Extracción+liquido-liquido> [7 de marzo de 2018]

Rockwell Automation. 2008. *Cómo obtener resultados con RSLinx Classic*. Wisconsin. Estados Unidos. 56 págs.http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lnx-gr001_-es-e.pdf [10 de marzo de 2018]

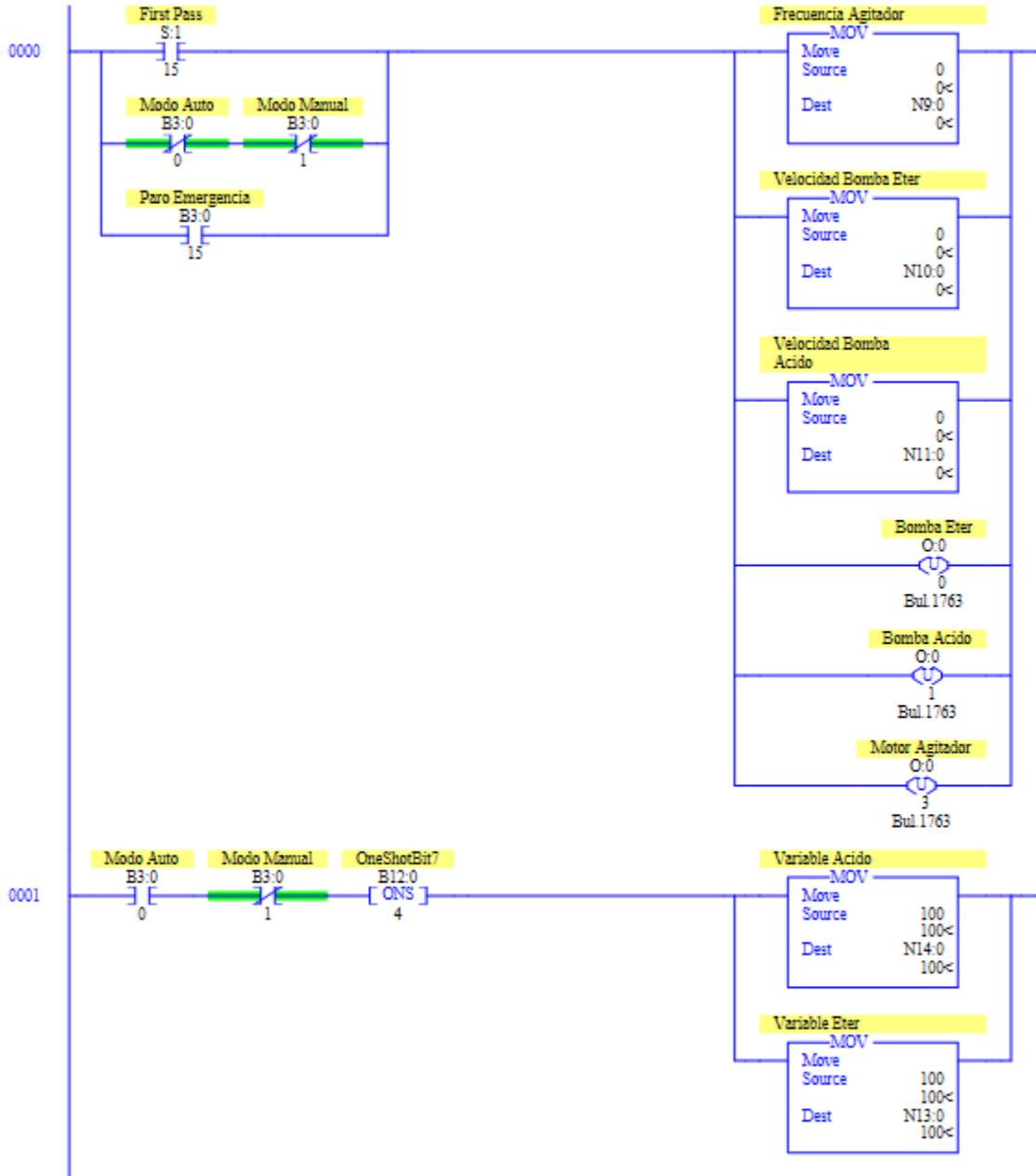
Rockwell Automation. 2018. *FactoryTalk View Machine Edition*. Wisconsin. Estados Unidos. 561 págs.http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-m004_-en-e.pdf [10 de marzo de 2018]

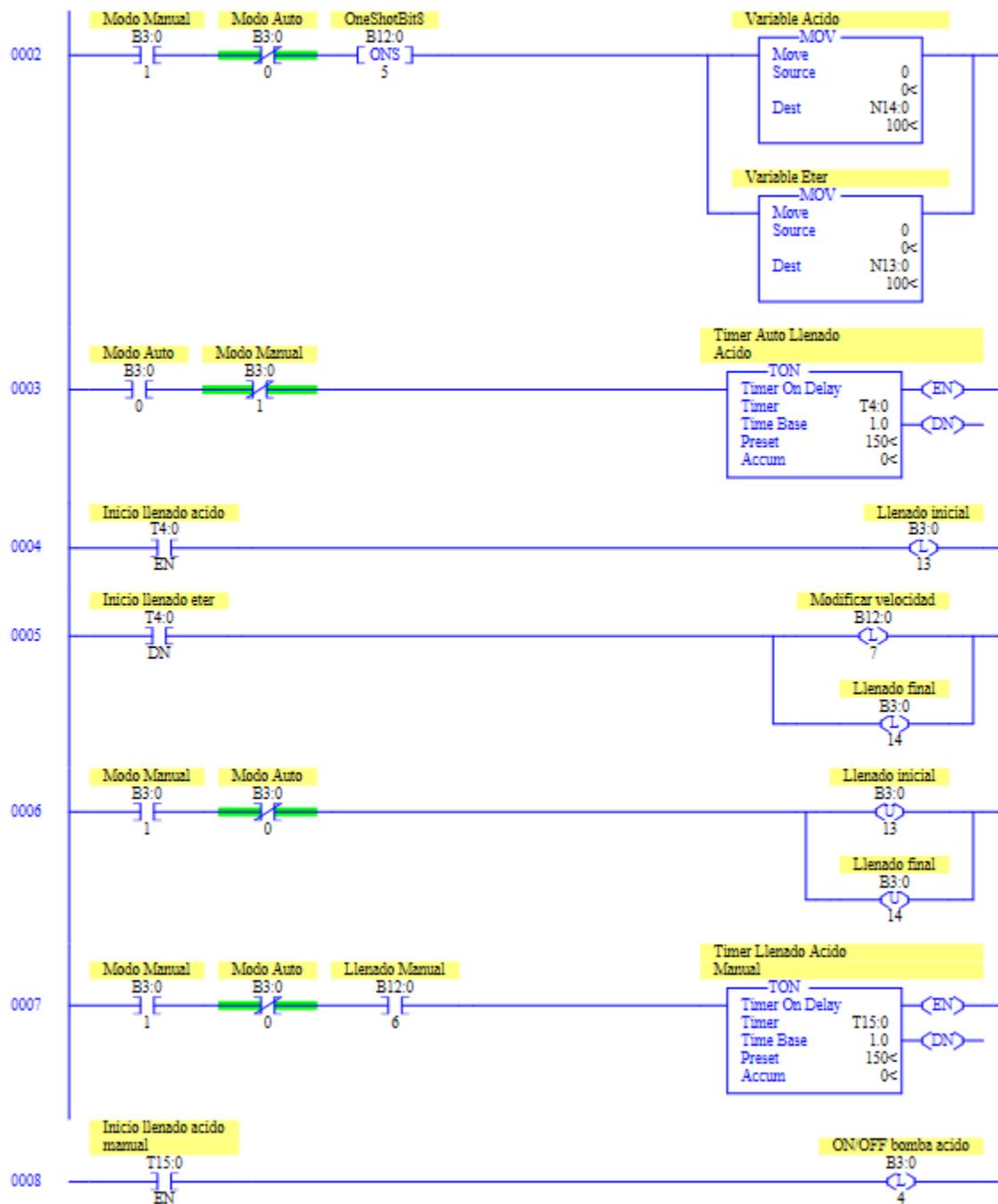
Rockwell Automation. 2018. *FactoryTalk View Site Edition*. Wisconsin. Estados Unidos 643 págs. http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewse-um006_-en-e.pdf [11 de marzo de 2018]

Ruiz, Luis, *et al.* 2011. *Tercera fase de la automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala*. Megaproyecto Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 181 págs.

XIII. ANEXOS

Figura 20. Rutina principal del programa del PLC.





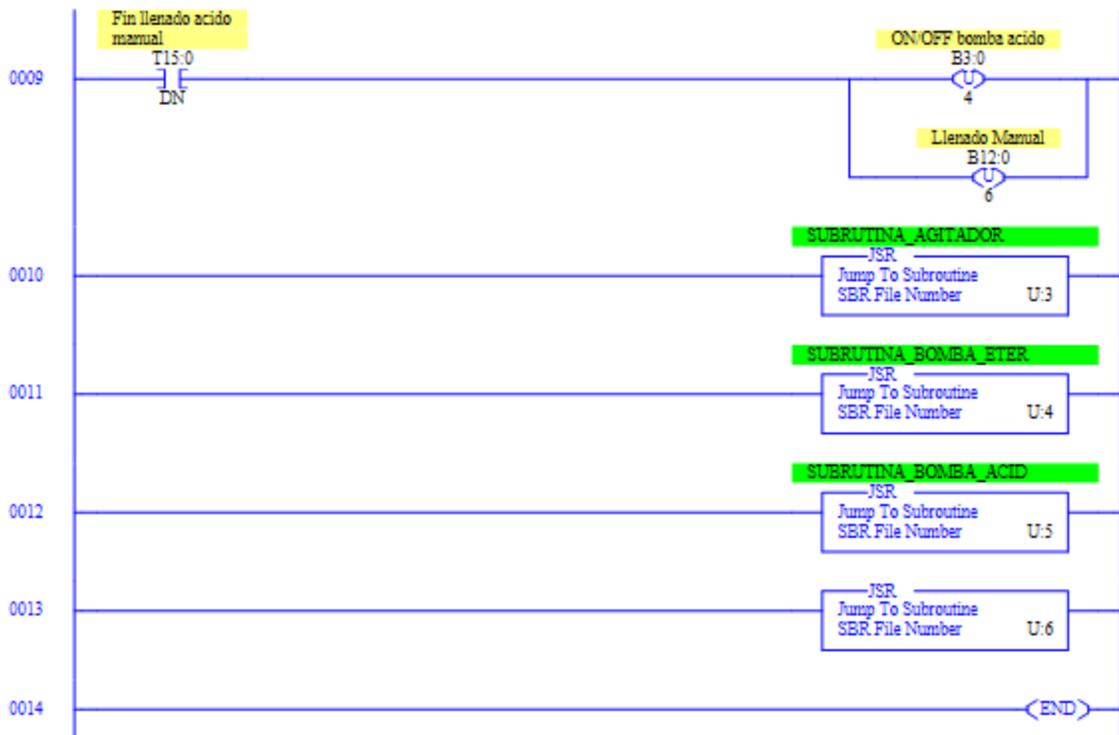


Figura 21. Rutina del agitador del programa del PLC.

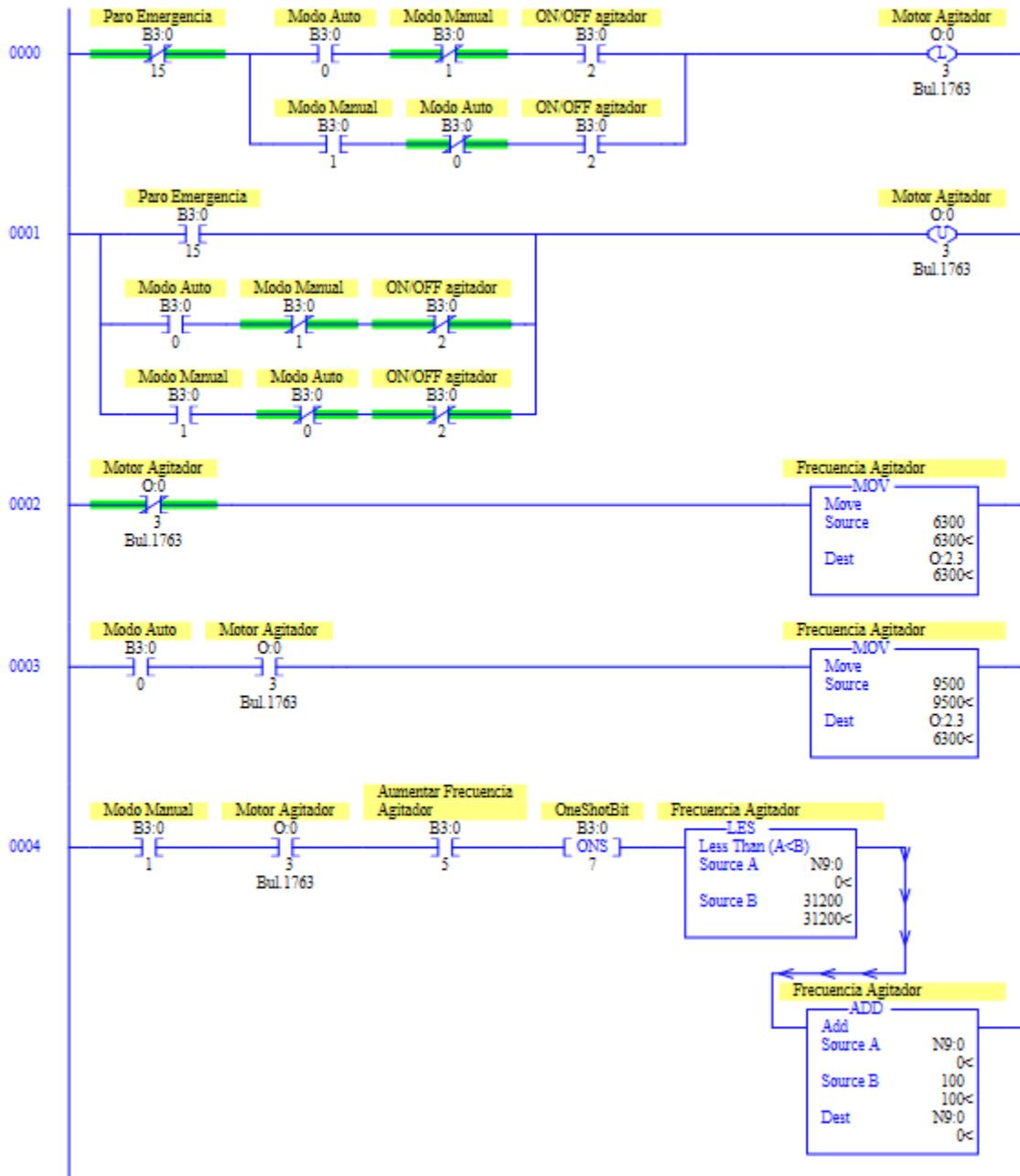
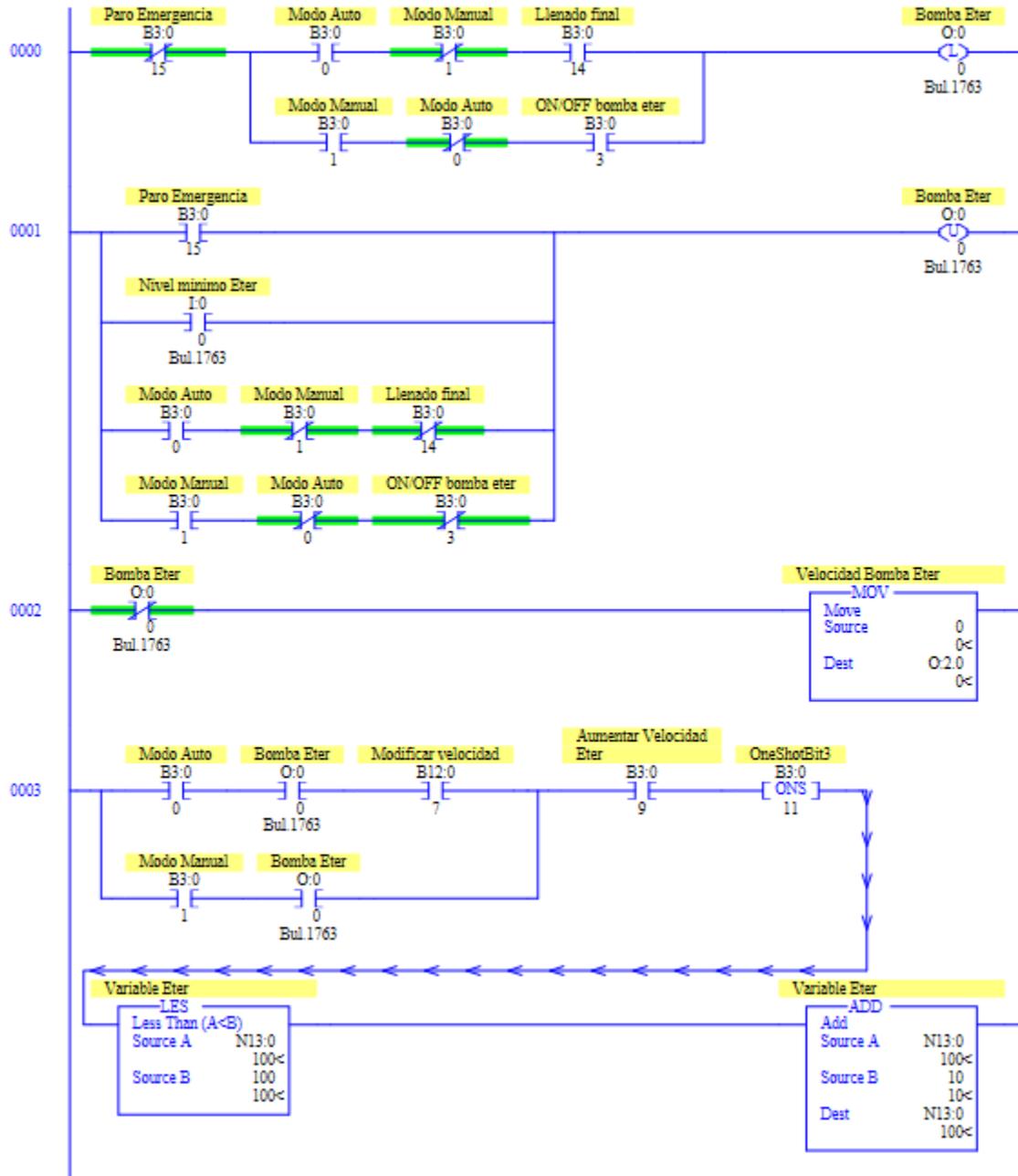


Figura 22. Rutina de la bomba dosificadora de éter del programa del PLC.



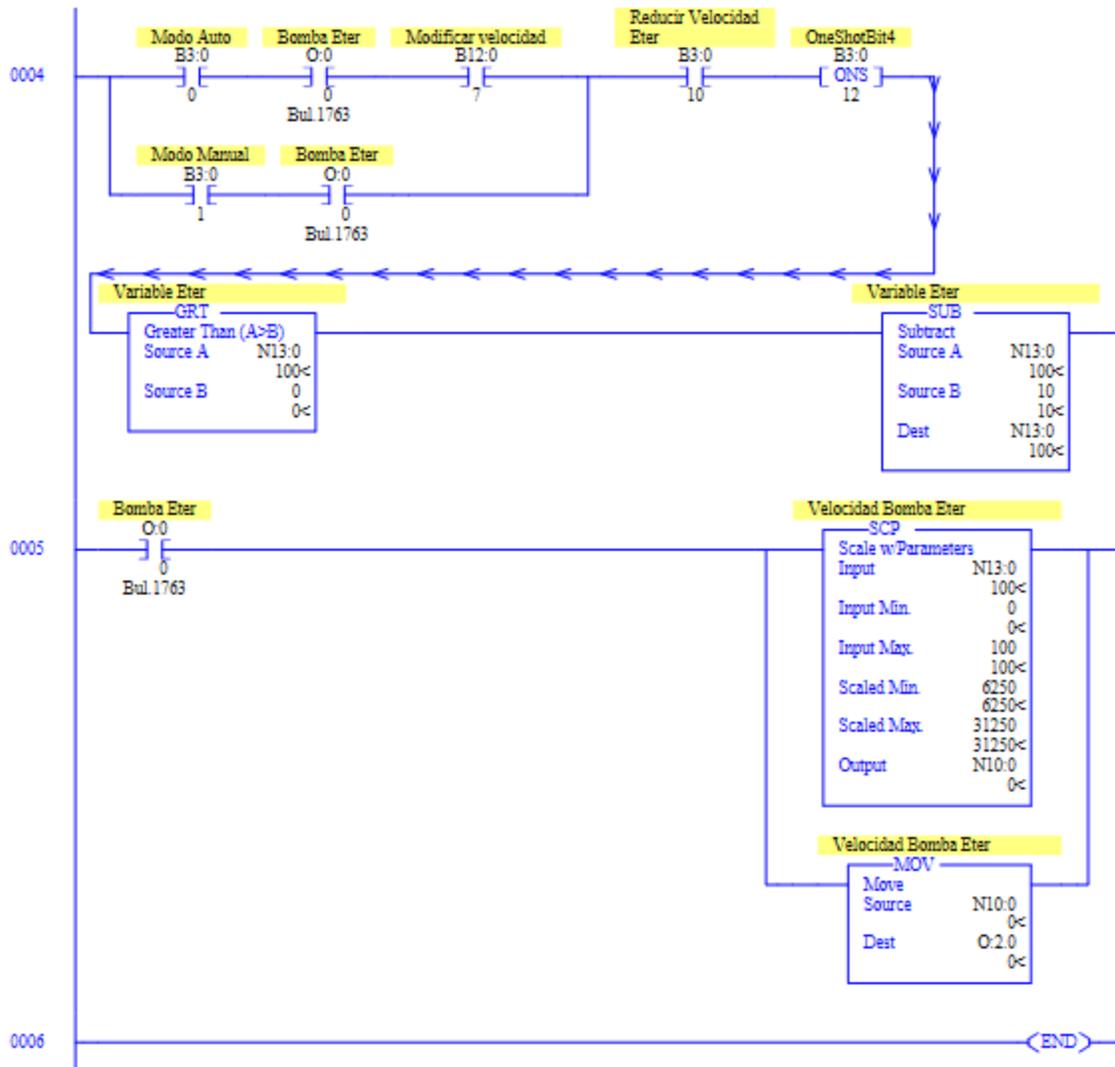
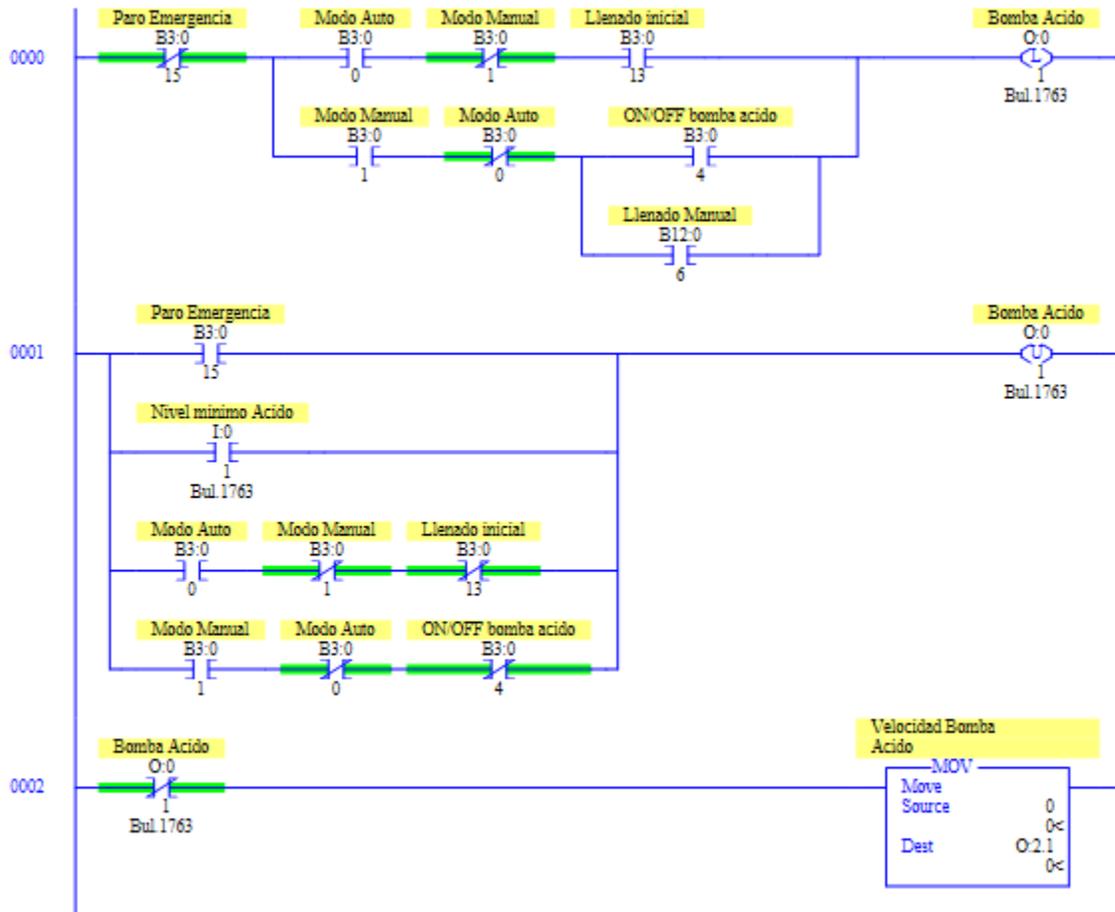


Figura 23. Rutina de la bomba dosificadora de ácido acético del programa del PLC.



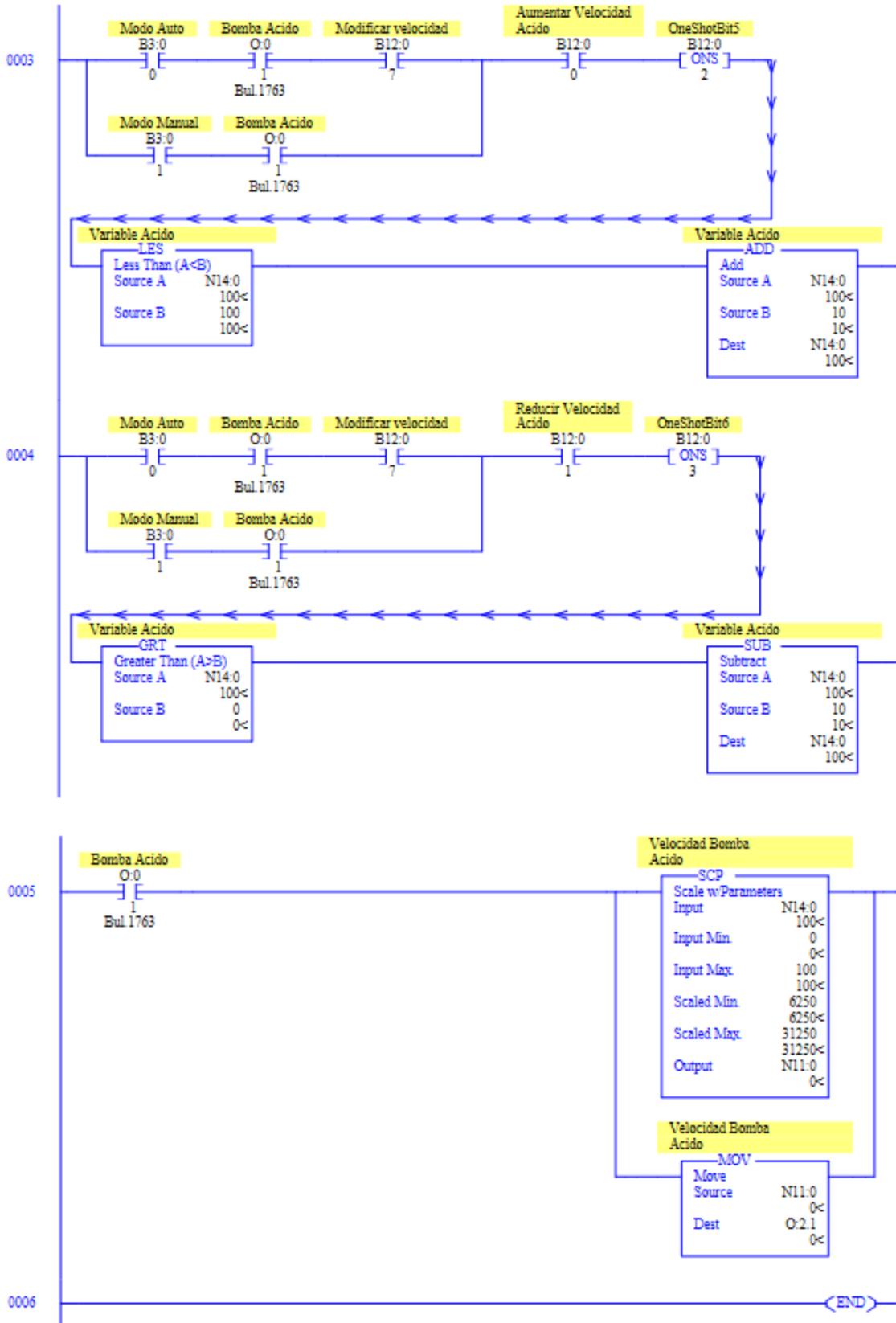


Figura 24. Rutina de los sensores del programa del PLC.

