

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



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 presentado por

Dulce María Chacón Muñoz

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería
Mecatrónica

Guatemala,
2017

Restauración y automatización de la columna de extracción
líquido-líquido del Laboratorio de Operaciones Unitarias de
la Universidad del Valle de Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Restauración y automatización de la columna de extracción
líquido-líquido del Laboratorio de Operaciones Unitarias de
la Universidad del Valle de Guatemala

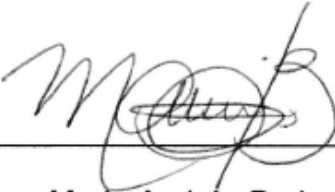
Trabajo de Graduación presentado por

Dulce María Chacón Muñoz

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería
Mecatrónica


Guatemala,
2017

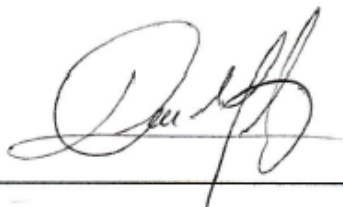
Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Mario Andrés Burbano Castro

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Mario Andrés Burbano Castro

(f) 
M.Sc. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) 
Ing. Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de diciembre de 2017.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. General.....	2
B. Específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Proceso químico de extracción.....	4
B. Generalidades del proceso de extracción líquido-líquido.....	5
C. Columna de extracción líquido-líquido.....	7
V. ANTECEDENTES.....	18
VI. METODOLOGÍA.....	21
A. Investigación.....	21
B. Diseño.....	22
C. Implementación y automatización.....	23
VII. RESULTADOS.....	24
VIII. DISCUSIÓN.....	36
IX. CONCLUSIONES.....	39

X.	RECOMENDACIONES.....	40
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	41
XII.	ANEXOS.....	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características del éter dietílico como disolvente para el proceso de extracción.	11
Cuadro 2. Listado de componentes con el fabricante, modelo y cantidad necesaria. ...	25
Cuadro 3. Listado de entradas del sistema.....	27
Cuadro 4. Listado de salidas del sistema.	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso idealizado de la extracción líquido-líquido.	5
Figura 2: Torre de pulverización sin agitación en la extracción líquido-líquido.	8
Figura 3. Diagrama triangular equilátero del proceso de extracción líquido-líquido.	9
Figura 4. Diagrama triangular equilátero con las partes que lo conforman.	10
Figura 5. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID de la tercera fase de automatización de la columna de extracción.	18
Figura 6. Panel de control de la columna de extracción con el sensor de conductividad dentro del mismo.	19
Figura 7. Cableado de la columna de extracción.	19
Figura 8. Variador de frecuencia instalado fuera del panel.	20
Figura 9. Columna de extracción del Laboratorio de Operaciones Unitarias.	20
Figura 10. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID de la columna de extracción líquido-líquido.	24
Figura 11. Diagrama de flujo de la columna de extracción líquido-líquido.	29
Figura 12. Panel de control principal de la columna de extracción.	30
Figura 13. Puerta del panel de control principal de la columna de extracción líquido-líquido.	31
Figura 14. Panel de control secundario de la columna de extracción líquido-líquido.	32
Figura 15. Pantalla principal de la interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido.	33
Figura 16. Pantalla de modo automático de la interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido.	34
Figura 17. Pantalla de modo manual de la interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido.	35

RESUMEN

El presente trabajo de investigación contiene el diseño e implementación de un sistema de automatización para la columna de extracción líquido-líquido, que había sido automatizada previamente, ubicada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Esta columna de extracción formó parte de la tercera fase del proyecto de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias realizada en el 2009. Esta se utiliza en los laboratorios del curso de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química. Actualmente el equipo se encuentra inoperable por el constante uso y fallas en el sistema.

Se reutilizarán los componentes que permanezcan en buen estado de la fase anterior del proyecto. Además, se realizará un estudio para determinar la cantidad de material extra que se requiere, como sensores y cables. Se desea agregar un sistema de dos sensores para controlar el flujo de agua refinada de salida que previamente no había sido instalado. El cableado irá con código de color para su fácil inspección. Se programará un controlador lógico programable para realizar la automatización del proceso.

Por último, como es indispensable para cualquier equipo automatizado, se elaborará el diagrama eléctrico y el de proceso e instrumentación para que el usuario conozca su funcionamiento previo a utilizar la columna de extracción.

I. INTRODUCCIÓN

El agua contaminada contiene impurezas como el ácido acético. La columna de extracción simula la descontaminación del agua extrayendo el ácido acético utilizando éter como disolvente inmiscible en agua. El proceso de extracción líquido-líquido es uno de los procesos básicos que un ingeniero químico debe aprender para su carrera profesional. Esta es una de las técnicas más utilizadas en la industria para la separación de compuestos al igual que la destilación.

La automatización de la columna de extracción del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala fue en el año 2011 por estudiantes de ingeniería electrónica, con el propósito de mejorar el método de enseñanza del Departamento de Ingeniería Química. Durante los años, el funcionamiento de la misma se deterioró y no se le pudo realizar un mantenimiento a las conexiones del panel por la ausencia de un diagrama eléctrico unifilar.

Se diseñó la restauración y automatización de la columna de extracción para el Departamento de Ingeniería Química. Se enfocó precisamente en la columna de extracción no en la torre completa por la falta de presupuesto para ambas partes de la torre. Para poder realizar dicho diseño, fue necesario poder entender el proceso de extracción por lo que se requirió de entrevistas e investigación.

Como resultado, se realizó un diagrama eléctrico unifilar, la interfaz gráfica en la computadora y el diagrama de proceso e instrumentación. Además, se realizó un diagrama de flujo del proceso de extracción líquido-líquido para representar las condiciones que se deben cumplir durante el proceso. Por último, se hizo un listado de señales a manejar durante el proceso de extracción y un listado de los componentes con su fabricante y modelo que se utilizarán en la columna de extracción.

II. OBJETIVOS

A. General

Implementar un sistema de control automático y restaurar el funcionamiento de la columna de extracción líquido-líquido del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

B. Específicos

1. Restaurar y darle mantenimiento a la instrumentación electrónica y conexiones del proceso de la columna de extracción probando e interconectando nuevamente los componentes.
2. Elaborar un diagrama de conexiones eléctricas y un diagrama de proceso e instrumentación de la columna de extracción en el software AutoCAD.
3. Programar el control automático de la columna de extracción usando un controlador lógico programable (PLC).
4. Diseñar e implementar una interfaz gráfica en una computadora para controlar automáticamente la columna de extracción y monitorear las variables críticas del proceso.

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la mayoría de empresas en la industria emplean automatización para hacer sus procesos de producción más eficientes. Para esto, se les enseña a los estudiantes de ingeniería química los procesos químicos, como la extracción líquido-líquido, con un equipo automatizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. El proceso de extracción líquido-líquido es importante en la formación de los futuros profesionales de Ingeniería Química porque sirve para extraer o separar un soluto de una mezcla de líquidos aprovechando la diferencia de solubilidad, este es un fenómeno de transferencia de masa básico en la ingeniería química.

Actualmente, el proceso de extracción líquido-líquido es realizado por los estudiantes de forma manual utilizando llaves de paso. Al implementar la automatización nuevamente, el estudiante de ingeniería química podrá aprender sobre la automatización del proceso de extracción y el trabajo en equipo con un ingeniero mecatrónico, el cual realiza la automatización. De esta forma, se mejoran los procesos químicos y el aprendizaje de los mismos.

Además, este trabajo de graduación simplificará las tareas de control y diagnóstico del equipo y permitirá la obtención de mediciones de conductividad y ácido automáticamente, y luego poder hacer el mismo proceso de forma manual para verificar los mismos datos obtenidos.

En la actualidad, la implementación de sistemas de automatización para el control de procesos industriales fomenta la reducción de costos e incrementa la eficiencia. Por lo que se tiene como objetivo restaurar y automatizar la columna de extracción líquido-líquido para aprovechar el potencial del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Proceso químico de extracción

Para definir este proceso químico de extracción, la Universidad de Barcelona (2016) dice:

«La extracción con disolventes es la técnica de separación de un compuesto a partir de una mezcla sólida o líquida, donde se aprovechan las diferencias de solubilidad de los componentes de la mezcla en un disolvente adecuado.»

Esta es una de las técnicas de separación de compuestos más utilizada en los laboratorios químicos de investigación y en la industria.

El objetivo principal del proceso de extracción es separar el producto de una reacción o remover impurezas que se pueden encontrar en una mezcla de reacción por las diferencias de solubilidad en el disolvente de extracción utilizado.

En un laboratorio de investigación, comúnmente se utilizan mezclas complejas de diferentes compuestos. Cuando se lleva a cabo una reacción de preparación de un compuesto determinado, la mayoría de veces se necesita separar el producto de la mezcla de reacción. En esta mezcla, pueden haber subproductos formados durante la reacción o ciertas impurezas. Al buscar un rendimiento más alto de formación del producto deseado, se mejoran las condiciones de reacción; de esta forma, se tienen que plantear procesos eficientes de separación que permitan la máxima recuperación del producto partiendo de la mezcla de reacción. El proceso de extracción es una de las técnicas más simples y básicas en química para hacerlo.

La extracción de un compuesto está basada en la transferencia selectiva del compuesto desde una mezcla sólida o líquida con otros compuestos hacia una fase líquida, un disolvente orgánico es comúnmente utilizado. Los resultados del proceso de extracción depende de la distinta solubilidad del disolvente, del compuesto a extraer y de otros compuestos utilizados que se encuentran presentes en la mezcla inicial.

Existen factores que afectan la extracción como:

- La composición de la alimentación de la solución y disolvente ya sea la temperatura, presión y velocidad de flujo de cada uno.
- El grado de separación o extracción deseado.
- La selección del disolvente.
- La temperatura y presión de operación.

- La formación de espuma y emulsiones.

Entre los tipos de procesos de extracción está la extracción sólido-líquido que consiste en un sistema con un metal fundido (el líquido) en contacto con sal fundida, estos metales pueden ser extraídos de una fase a otra; y también está la extracción líquido-líquido que es una técnica donde una solución líquida se pone en contacto con un solvente líquido con el fin de extraer el soluto de la solución al solvente. El enfoque en el presente proyecto es el proceso químico de la extracción líquido-líquido.

B. Generalidades del proceso de extracción líquido-líquido

El proceso de extracción líquido-líquido es una técnica en que la solución líquida se pone en contacto con un solvente orgánico con la solución líquida. El solvente orgánico debe ser inmisible para no mezclarse y poder realizar la extracción. De esta manera, se tiene el fin de colocar la transferencia de uno o más solutos hacia el solvente orgánico. Las separaciones o extracciones que se pueden realizar son simples, rápidas, limpias y convenientes. En muchos casos, el proceso puede ser efectuado por la agitación durante algunos minutos en un embudo de separación o columna.

Figura 1: Proceso idealizado de la extracción líquido-líquido.



Fuente: <http://procesosbio.wikispaces.com/Extracción+líquido-líquido>

Un ejemplo es una situación donde se tienen dos líquidos A y B, miscibles entre sí y se tiene el objetivo de separar A de B. Se puede utilizar un tercer líquido C que sea más miscible con el líquido A que con B. De esta manera, se aprovecha las diferencias en solubilidad.

La extracción líquido-líquido se lleva a cabo en dos etapas:

1. Mezcla íntima del solvente de extracción con la mezcla de líquidos miscibles a procesar.
2. Separación de la mezcla en dos fases líquidas inmiscibles.

Se puede decir que el proceso de extracción también es una operación unitaria de transferencia de materia que se basa en la disolución de uno o varios componentes de una mezcla (en este caso líquida, pero puede ser que formen parte de un sólido) en un disolvente seleccionado. La extracción consiste en poner en contacto una mezcla líquida con un líquido miscible, que provoque que el segundo líquido extraiga uno o más de los componentes de la mezcla.

El líquido que se emplea para extraer parte de la mezcla debe ser insoluble para los componentes primordiales. Después de poner en contacto el disolvente y la mezcla se obtienen dos fases líquidas que reciben los nombres de extracto y refinado. El producto de la operación, que tiene mayor disolvente se llama extracto; el líquido residual de donde se separó el soluto es el refinado (Treybal, 1988).

La extracción de un componente de una mezcla líquida mediante un disolvente tiene mayores ventajas respecto a otros procesos de separación como la destilación:

- Instalaciones más sencillas.
- Existe la posibilidad de separar componentes sensibles al calor sin necesidad de realizar una destilación al vacío.
- La selectividad del disolvente para componentes de naturaleza química similar permite separaciones de grupos de componentes, imposibles de lograr basándose sólo en el punto de ebullición. (Costa, J; 1988)

Es importante hacer la distinción entre el proceso de extracción sólido-líquido y la extracción líquido-líquido ya que la materia o compuesto a extraer se encuentre en un sólido o en un líquido, respectivamente. En este caso, el disolvente ha de ser inmiscible con la fase líquida que contiene el soluto.

Se puede utilizar este tipo de extracción cuando la separación por destilación es ineficaz o muy difícil de emplear. Uno de los principales usos son las mezclas con las temperaturas de ebullición próximas, como derivados del petróleo, o sustancias que no pueden soportar la temperatura de destilación, con frecuencia se separan por extracción, que utiliza diferencias de estructura química en vez de diferencias de volatilidades. (Universidad de Barcelona, 2016) La

extracción puede utilizarse para separar más de dos componentes y en algunas aplicaciones se requiere una mezcla de disolventes en vez de un solo disolvente.

1. Aplicaciones

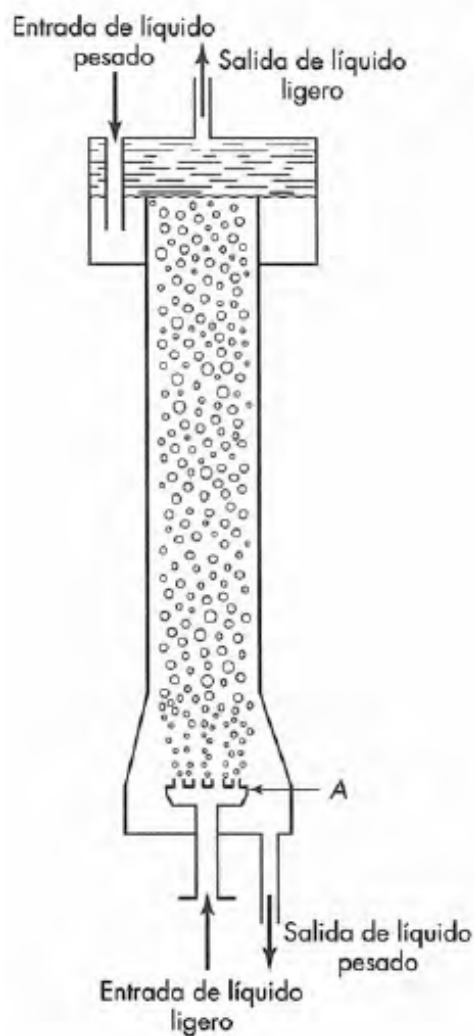
- Industria bioquímica: separación de antibióticos y recuperación de proteínas de sustratos naturales.
- Extracción de metales: recuperación del cobre de soluciones amoniacales, separaciones de metales poco comunes y de isótopos radiactivos en elementos combustibles gastados.
- Industria química inorgánica: recuperar compuestos como ácido fosfórico, ácido bórico e hidróxido de sodio de soluciones acuosas.
- Recuperación de compuestos aromáticos: extracción de fenol, anilina o compuestos nitrogenados de las aguas de desecho.
- Recuperación de productos sensibles al calor.
- Recuperación de compuestos orgánicos del agua: extracción de formaldehído, ácido fórmico y ácido acético.
- Refinación del petróleo
- Extracción de furfural de aceites lubricantes.
- Desasfaltado de propano
- Desulfuración
- Refinado de aceites lubricantes y de disolventes.
- Extracción de productos que contienen azufre.
- Obtención de ceras parafínicas.

C. Columna de extracción líquido-líquido

La extracción líquido-líquido es la operación básica más importante en la separación de mezclas homogéneas líquidas. Para esto, hay distintos equipos para realizar la extracción líquido-líquido. (EcuRed, 2017) En este caso, se utilizará la columna o torre de pulverización agitada.

Este tipo de equipo trabaja por contacto a contracorriente, de modo que la mezcla y la sedimentación ocurren de forma simultánea y continua.

Figura 2: Torre de pulverización sin agitación en la extracción líquido-líquido.



Fuente: <https://sites.google.com/site/extraccionliqliqpnupiig/extraccion-liquido-liquido>

En la torre de pulverización el líquido menos denso se introduce por el fondo y se distribuye en pequeñas gotas por medio de boquillas, estas gotas ascienden a través de la masa del líquido más pesado que desciende por la torre (por gravedad) 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. La velocidad de transferencia es relativamente baja en comparación con la absorción o la destilación y una columna alta puede ser equivalente a solo unas pocas etapas ideales.

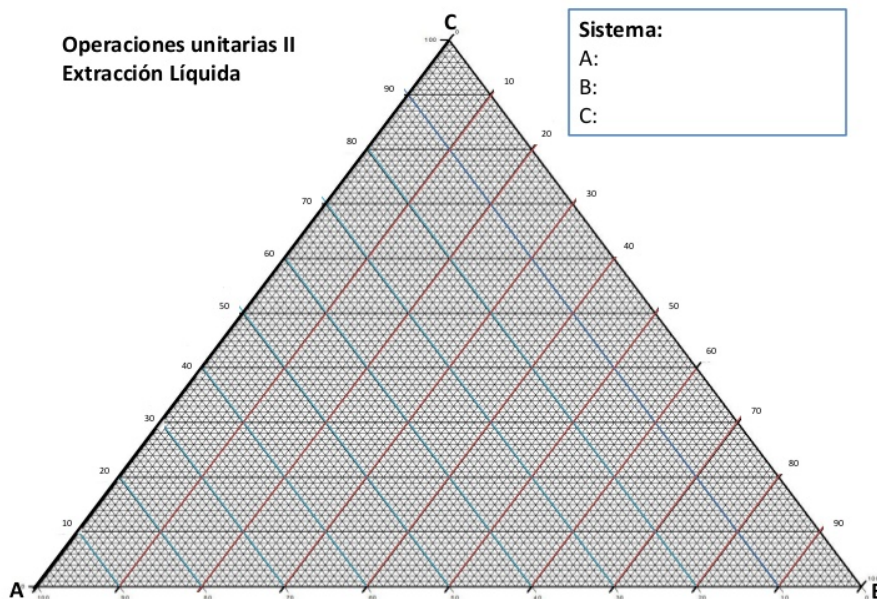
Cuando una torre de extracción es agitada, significa que comunica energía mecánica para la mezcla de dos fases líquidas. En algunas torres de extracción se comunica energía mecánica por medio de turbinas interiores u otros agitadores, instalados sobre un eje central rotatorio. En este caso, un motor trifásico gira para que un eje central agite de forma que sube y

baja dentro de la columna de extracción. De esta forma, ayuda a la transferencia del soluto al disolvente.

1. **Diagrama de equilibrio ternario.** Para diseñar una operación de extracción líquido-líquido, se debe considerar que el refinado y el extracto (los resultados del proceso obtenidos) se encuentran en equilibrio. Los datos de equilibrio que se manejan son los que corresponden a un sistema ternario (dos disolventes y un soluto), donde dos de los componentes son inmiscibles o parcialmente inmiscibles entre sí.

La forma más habitual de reunir los datos de equilibrio en sistemas ternarios son los diagramas triangulares equiláteros, como el que se presenta en la figura 3. Los vértices del triángulo representan los compuestos puros. Un punto que se encuentre sobre un lado del triángulo corresponde a una mezcla binaria y un punto que se encuentre en el medio del triángulo representa una mezcla ternaria. La concentración de los componentes en los diagramas triangulares se muestran como fracción molar o fracción másica.

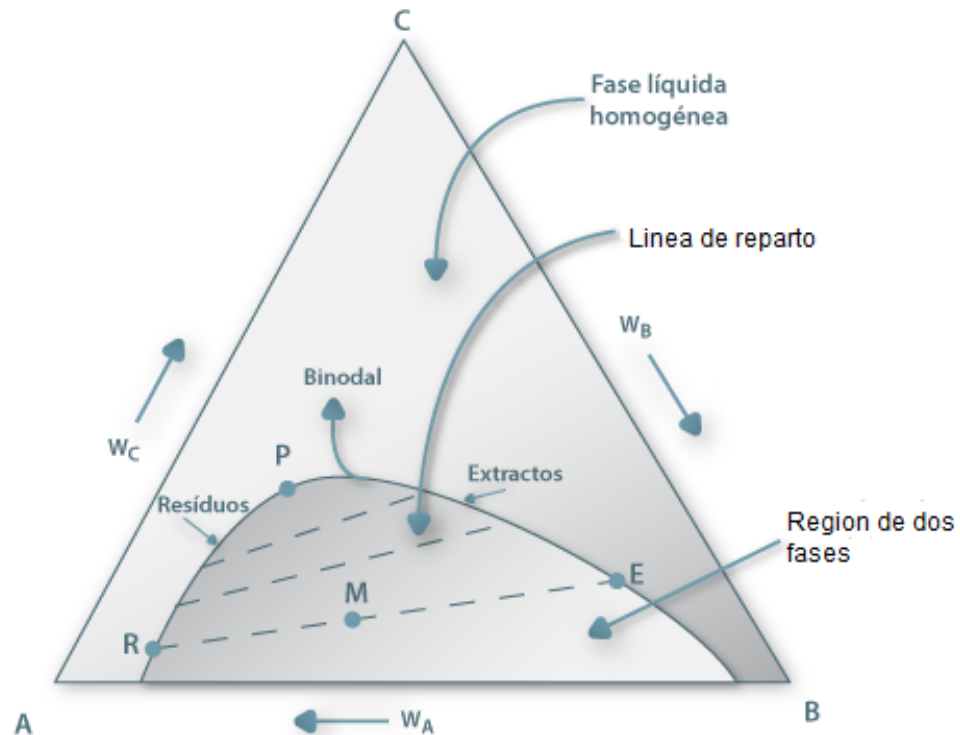
Figura 3. Diagrama triangular equilátero del proceso de extracción líquido-líquido.



La mezcla de los disolventes seleccionados en las proporciones adecuadas puede dar lugar a la formación de dos fases. La solubilidad de un disolvente en otro se vería modificada por la presencia de un soluto. Para poder representar este comportamiento en el diagrama triangular equilátero y poder conocer si a una determinada mezcla le corresponde una o dos fases, los diagramas triangulares de la extracción líquido-líquido presentan una curva

binodal o de solubilidad. Un punto que se encuentre por arriba de la curva binodal representa una mezcla constituida por una sola fase. Por el otro lado, un punto situado por debajo de la curva binodal corresponde a una mezcla de dos fases.

Figura 4. Diagrama triangular equilátero con las partes que lo conforman.



Las dos fases en equilibrio se encuentran ligadas por una recta de reparto. La recta de reparto pasa por el punto mezcla y sus extremos sobre la curva binodal indican la concentración de las dos fases en equilibrio (EcuRed, 2017).

2. **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.

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

- Coeficiente de distribución alto
- Capacidad del disolvente: capacidad de disolver el soluto, en presencia del diluyente.
- 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.
- Factor de separación alto.
- Solventes altamente insolubles.
- Fácil recuperación del disolvente.

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.

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	$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$	0.7	35	Muy inflamable, tóxico.

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.

3. **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 $\text{S cm}^2 \text{mol}^{-1}$

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

g. **Software 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.

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

h. **Software 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 Vita 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.

i. **Software 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

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.

V. ANTECEDENTES

El último proyecto de automatización de la columna de extracción líquido-líquido fue en el año 2011 en la tercera fase de automatización del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Esta fue automatizada para las prácticas de laboratorio de los estudiantes de ingeniería química.

Ya que no se realizó mantenimiento a la columna de extracción durante el año 2012 al 2017, esta dejó de funcionar y se fue desarmando para utilizar los instrumentos de medición en otras máquinas para otros procesos. Durante estas desconexiones, se desordenó el cableado.

Si se deseaba hacer una restauración de la columna de extracción, esta no se podía llevar a cabo ya que no había un diagrama eléctrico ni un código de color para los cables. Además no se tenía un listado de componentes con fabricante y modelo para volver a comprarlos.

Figura 5. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID de la tercera fase de automatización de la columna de extracción.

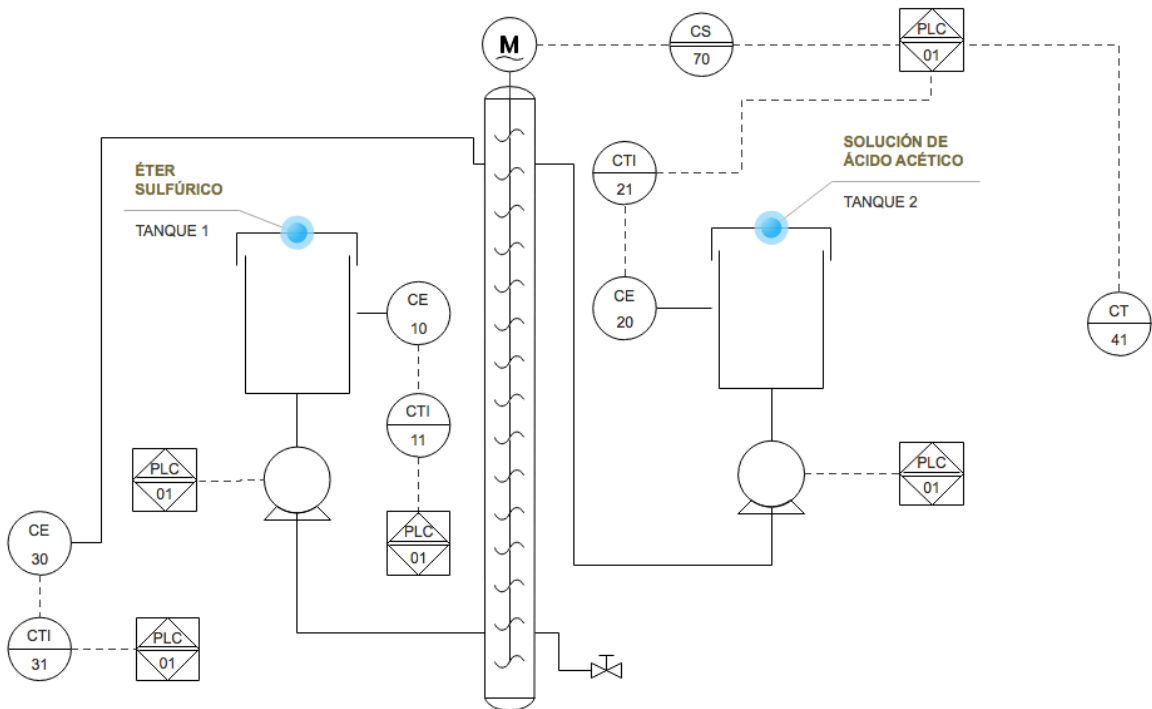


Figura 6. Panel de control de la columna de extracción con el sensor de conductividad dentro del mismo.



Figura 7. Cableado de la columna de extracción.

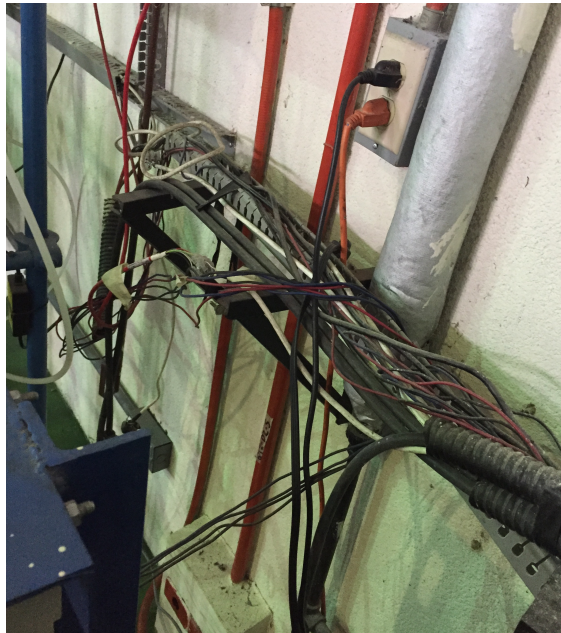


Figura 8. Variador de frecuencia instalado fuera del panel.



Figura 9. Columna de extracción del Laboratorio de Operaciones Unitarias.



VI. METODOLOGÍA

A. Investigación

1. Investigación del proceso de extracción líquido-líquido. Se busca familiarizarse con el proceso de extracción líquido-líquido para entender los pasos que se deben seguir. Se hizo un estudio del proceso que debe realizar la máquina para entender el funcionamiento de la misma y así poder implementar la automatización nuevamente. Además, se realizó una investigación de la cantidad de bombas necesarias, la cantidad de sensores para medir los datos y el motor a utilizar.

2. Investigación del funcionamiento de una columna de extracción líquido-líquido. Una vez que se entendió el proceso de extracción, se pasó a investigar el funcionamiento de la columna de extracción. Se investigó sobre las variables críticas a medir, los pasos que se deben seguir durante el proceso y las condiciones a evaluar para realizar ciertas acciones. Las columnas de extracción son comúnmente utilizadas en la industria de ingeniería química, por lo que, para el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala, es una de las bases para los estudios básicos de esta carrera.

3. Investigación de los softwares a utilizar

a. RS Logix 500

b. FactoryTalk View Studio. Se investigó y se estudió el lenguaje ladder para poder programar el PLC. Se utilizó el software RS Logix 500 para programar el PLC por lo que fue necesario aprender a utilizar correctamente este software. Además, se investigó como conectarse en línea con el PLC para realizar pruebas en las distintas fases del programa. Adicionalmente, se utilizó el software FactoryTalk View Studio para programar la interfaz gráfica y conectarla al PLC.

4. Investigación de sensores para las variables a utilizar. Una vez que se determinaron las variables críticas, se investigaron y se escogieron los sensores a utilizar. Se analizaron los fluidos que se iban a manejar durante el proceso por lo que se determinaron los materiales que se debían utilizar para los sensores de la columna de extracción que iban a estar en contacto con estos fluidos. Además, se buscaron los manuales de usuario de los sensores a partir de su modelo para realizar las conexiones correctamente.

5. Investigación de los actuadores. Se investigaron los actuadores a utilizar y la cantidad necesaria para el proceso. Se analizó si los materiales con lo que estaban hechos los actuadores

iban a resistir a los fluidos que se manejar cuando estuvieran en contacto. Además, se buscaron los manuales de usuario de los actuadores a partir de su modelo para relizar las conexiones correctamente.

B. Diseño

El diseño de la automatización implicó seis partes, estas eran: hacer un listado de componentes a utilizar en la columna de extracción, realizar un listado de señales de las entradas y salidas digitales y analógicas, elaborar un diagrama de proceso e instrumentación, realizar un diagrama eléctrico unifilar de la columna, construir un esquema de los paneles de control, formar un diagrama de flujo del proceso de extracción líquido-líquido, y por último, realizar la interfaz gráfica.

1. Proponer listado de los componentes a utilizar. Una vez que se comprendió el funcionamiento de la columna de extracción, se procedió a realizar un listado de componentes. Estos se clasificaron por fabricante, modelo y cantidad. Además se añadió una pequeña descripción de cada componente para identificar en que parte del proceso se iba a utilizar.

2. Realizar listado de las señales del PLC. Se propuso un listado de señales digitales y analógicas para implementar el control automático del sistema. Para hacerlo, se analizó el proceso manual de la columna y se separó en sub-procesos más pequeños. Se determinó la cantidad de entradas y salidas digitales y analógicas necesarias para implementar un algoritmo de control automático. Cada señal se clasificó por el tipo de señal, tipo de dato y valores a tomar, además de asignarle una variable a cada señal.

3. Elaborar diagrama de proceso e instrumentación P&ID. Como siguiente paso, se elaboró un diagrama de proceso e instrumentación P&ID con los actuadores y sensores a utilizar en la columna de extracción en el software EdrawMax. Este diagrama sigue la norma ISA para el nombramiento de cada instrumento a utilizar. Cada instrumento tiene un número asignado.

4. Construir diagrama eléctrico unifilar. Se realizó un diagrama eléctrico unifilar en el software AutoCAD Electrical 2016 para realizar las conexiones eléctricas de todas las señales a manejar. Se hizo un diagrama por cada componente utilizado en la columna.

5. Construir esquema del panel. Se realizó un esquema del panel de control principal, la puerta del panel de control principal y el panel de control secundario. Se realizó un esquema de la puerta ya que en esta están instalados los transmisores e indicadores de conductividad para

que las mediciones sean visibles al operador. Estos esquemas fueron realizados en el software AutoCAD 2017.

6. Formar diagrama de flujo. Al tener claro el proceso extracción de la máquina, se realizó un diagrama de flujo con las entradas de datos, procesos y condiciones a utilizar, con el objetivo de facilitar la programación en lenguaje ladder con el software RS Logix 500 para poder tener una comunicación efectiva con el PLC.

7. Realizar interfaz gráfica. Se realizó la interfaz gráfica en el software FactoryTalk View Studio para tener una mejor relación entre usuario y máquina. La interfaz gráfica estará conectada con el PLC para tener datos reales constantemente. Esta interfaz se realizó para contener una pantalla principal donde selecciona el modo a operar, y dos pantallas más donde se le muestra al usuario el modo automático o manual dependiendo de cual haya seleccionado en la pantalla principal.

C. Implementación y automatización

1. Montar componentes a la estructura. Se utilizaron las herramientas adecuadas y se montaron los componentes en la ubicación correcta para que todos los actuadores puedan realizar su funcionamiento y los sensores puedan tomar datos correctamente durante el proceso.

2. Interconectar los componentes. Una vez que los componentes se encontraron montados en la estructura, se utilizó cable de calibre 16 para conectar los actuadores y sensores a las entradas y salidas del PLC. Además, se utilizó cable de calibre 22 para las señales al PLC dentro del panel.

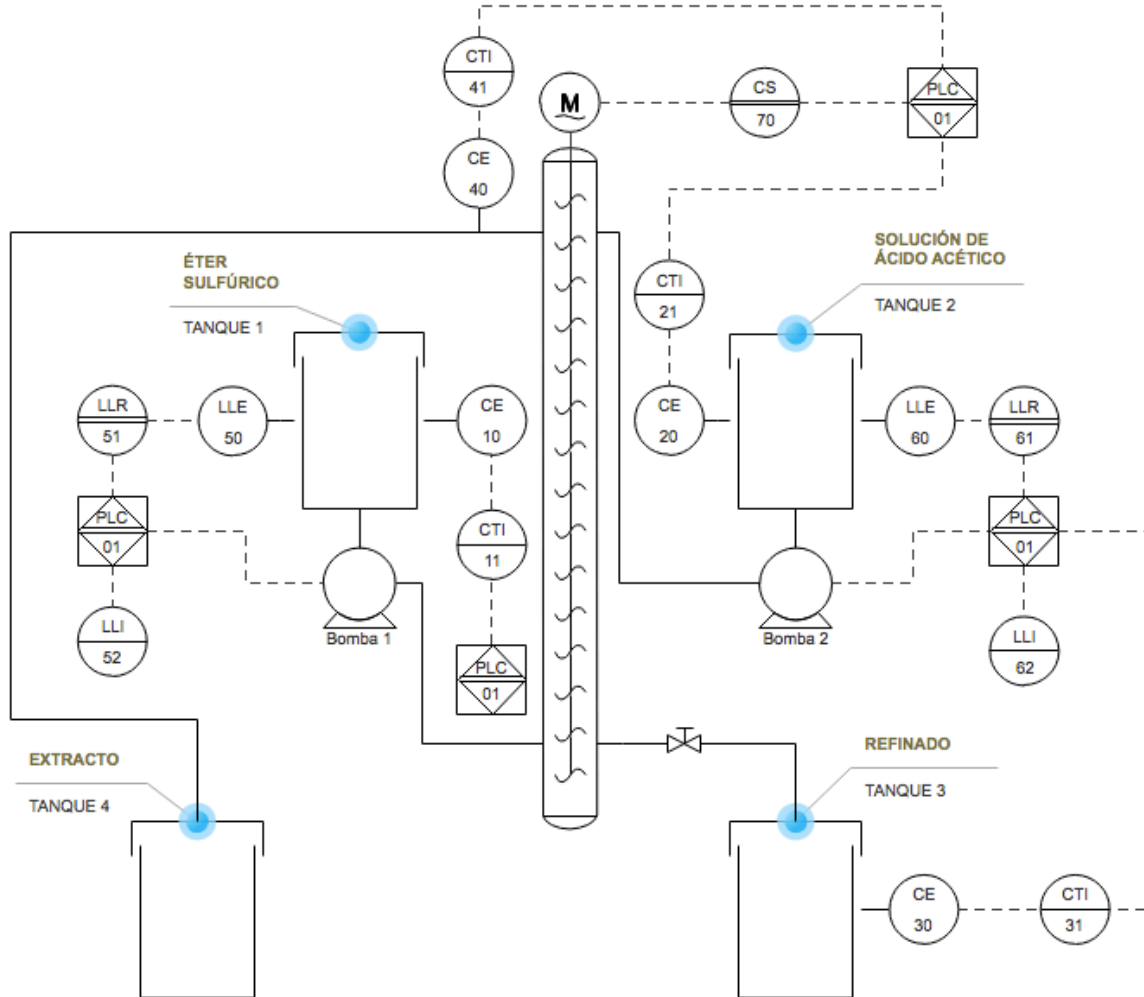
3. Realizar la identificación de cables. Al tener interconectados los componentes, se identificaron cada cable además de tener un código de color para futuras obras de mantenimiento y evitar que la máquina deje de funcionar nuevamente.

4. Realización de manual de usuario. Una vez que se automatizó la máquina, se procedió a realizar el manual de usuario pertinente. Dicho manual se hizo para que tuviera a detalle cómo utilizar la máquina.

5. Calibración y pruebas de la máquina. Una vez que todo este interconectado y el programa terminado, se realizarán pruebas en la máquina para verificar el funcionamiento correcto de la misma.

VII. RESULTADOS

Figura 10. Diagrama de proceso e instrumentación P&ID de la columna de extracción líquido-líquido.



Cuadro 2. Listado de componentes con el fabricante, modelo y cantidad necesaria.

Componente	Fabricante	Modelo	Descripción	Cantidad
Sensor de conductividad	ABB	TB4650E010002	Sensor para la medición de conductividad del éter, ácido acético, refinado y extracto.	4
Bomba dosificadora	LMI Milton Roy	B731-362SI	Bombas para introducir éter y ácido acético a la columna.	2
Sensor de nivel	G.E.		Sensor para medir nivel bajo de éter y ácido acético en los tanques 1 y 2, y nivel alto de refinado y extracto en los tanques 3 y 4.	4
Guardanivel	Schneider Electric	RM35LM33MW	Receptor de señal de nivel para obtener valor binario en el PLC.	4
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	TB82	Transmisor de la medición de conductividad en los tanques 1, 2, 3 y 4 de éter, ácido acético, refinado y extracto.	4
Power Relay	Schneider Electric	Telemecanique RXM4AB2F7		3

Continuación Cuadro 2

Componente	Fabricante	Modelo	Descripción	Cantidad
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
Beacon Lights	Allen-Bradley		Poste de luces indicadoras del nivel bajo y alto en los tanques.	1
Selector de Automático/Manual			Selector entre automático y manual.	1
Luces indicadoras			Luces de color rojo para indicar el nivel bajo del éter y ácido acético en el tanque 1 y 2.	2
Tanques de plástico			Tanques donde estará almacenado el éter y ácido acético en las entradas y el refinado y extracto en las salidas.	4
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

En el listado de componentes, cada uno está clasificado por su fabricante y modelo. Además se agregó una descripción con el funcionamiento en la columna de extracción y la cantidad necesaria para realizar el proceso.

Cuadro 3. Listado de entradas del sistema

Tipo de Señal	Nombre	Tipo de Dato	Valores	Descripción
Entrada Digital	LL_ETER	BOOL	0 - 1	Señal indicando el nivel bajo de éter en el tanque 1 de entrada.
Entrada Digital	LL_ACIDO	BOOL	0 - 1	Señal indicando el nivel bajo del ácido acético en el tanque 2 de entrada.
Entrada Digital	PARO_EMER	BOOL	0 - 1	Señal del paro de emergencia de la máquina.
Entrada Analógica	COND_ETER	WORD	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad del éter en el tanque 1 de entrada.
Entrada Analógica	COND_ACIDO	WORD	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad del ácido acético en el tanque 2 de entrada.
Entrada Analógica	COND_REF	WORD	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad del refinado en el tanque 3 de salida.
Entrada Analógica	COND_EXT	WORD	4-20 mA	Señal de la medición de conductividad del extracto en el tanque 4 de salida.

Cuadro 4. Listado de salidas del sistema.

Tipo de Señal	Nombre	Tipo de Dato	Valores	Descripción
Salida Digital	IND_ETER	BOOL	0 - 1	Señal para encender indicador del nivel bajo del éter.
Salida Digital	IND_ACIDO	BOOL	0 - 1	Señal para encender indicador del nivel bajo del ácido acético.
Salida Digital	IND_REF	BOOL	0 - 1	Señal para encender indicador del nivel alto del refinado.
Salida Digital	IND_EXT	BOOL	0 - 1	Señal para encender indicador del nivel alto del extracto.
Salida Digital	VARIADOR	BOOL	0 - 1	Señal para encender variador de frecuencia.
Salida Digital	BOMBA_ETER1	BOOL	0 - 1	Señal para encender y apagar el flujo de éter desde el tanque a la columna.
Salida Digital	BOMBA_ACIDO2	BOOL	0 - 1	Señal para encender y apagar el flujo de ácido acético desde el tanque a la columna.
Salida Analógica	BOMBA_ETER	WORD	4-20 mA	Señal para determinar la frecuencia de bombeo de la bomba dosificadora del éter.
Salida Analógica	BOMBA_ACIDO	WORD	4-20 mA	Señal para determinar la frecuencia de bombeo de la bomba dosificadora del ácido acético.
Salida Analógica	AGITADOR	WORD	4-20 mA	Señal para determinar la velocidad del motor trifásico para agitar la solución.

El listado de señales está clasificado por el tipo de señal, ya sea entrada o salida digital o analógica, el tipo de dato y los valores que puede tomar. El tipo de dato que se utilizó en estas señales fue de palabra donde los valores que podían tomar era de 4 a 20 mA o tipo booleano donde los valores que puede tomar la señal son 1 o 0. Cada señal tenía una descripción de cómo se usaría durante el proceso.

Figura 11. Diagrama de flujo de la columna de extracción líquido-líquido.

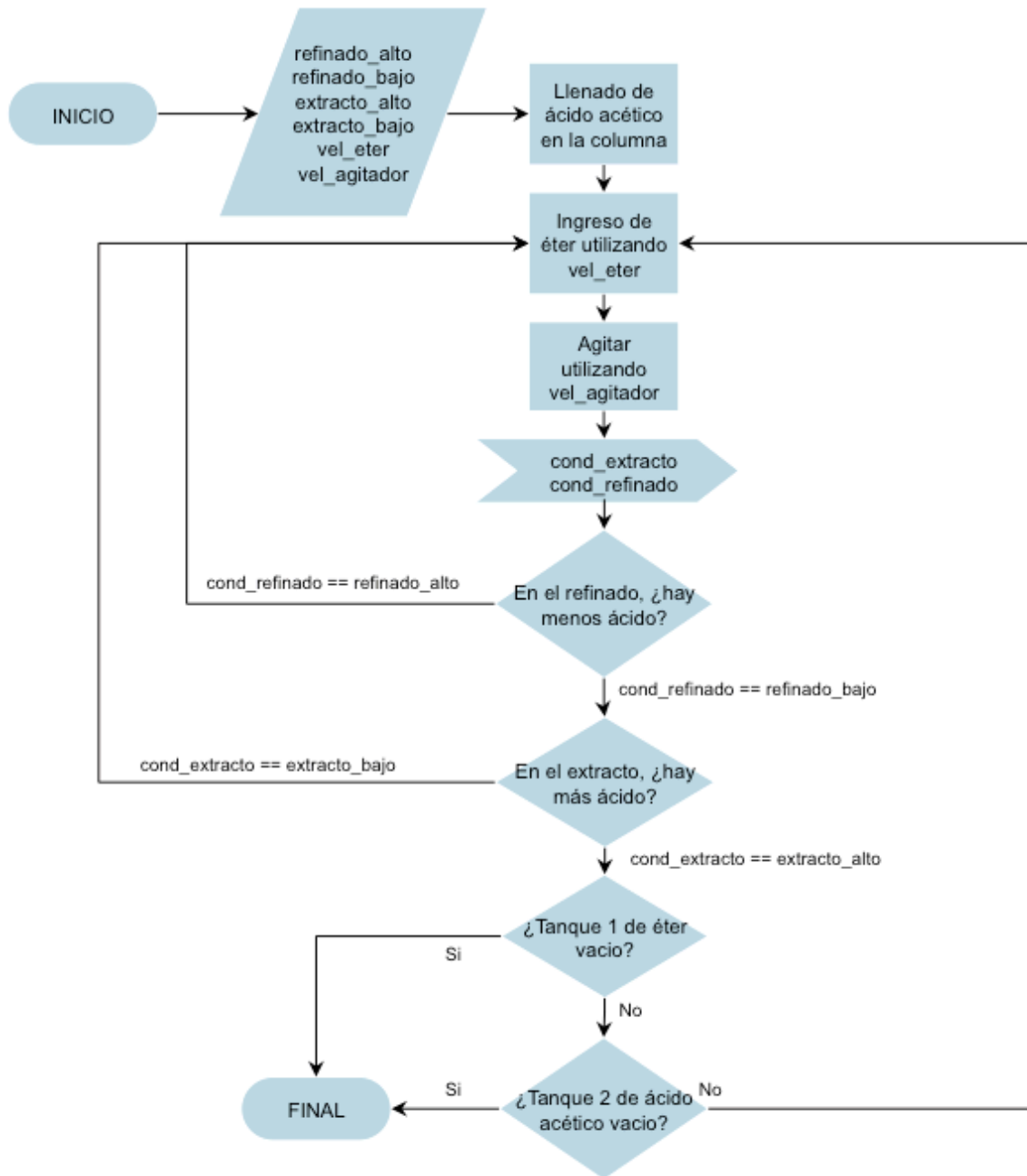


Figura 12. Panel de control principal de la columna de extracción.

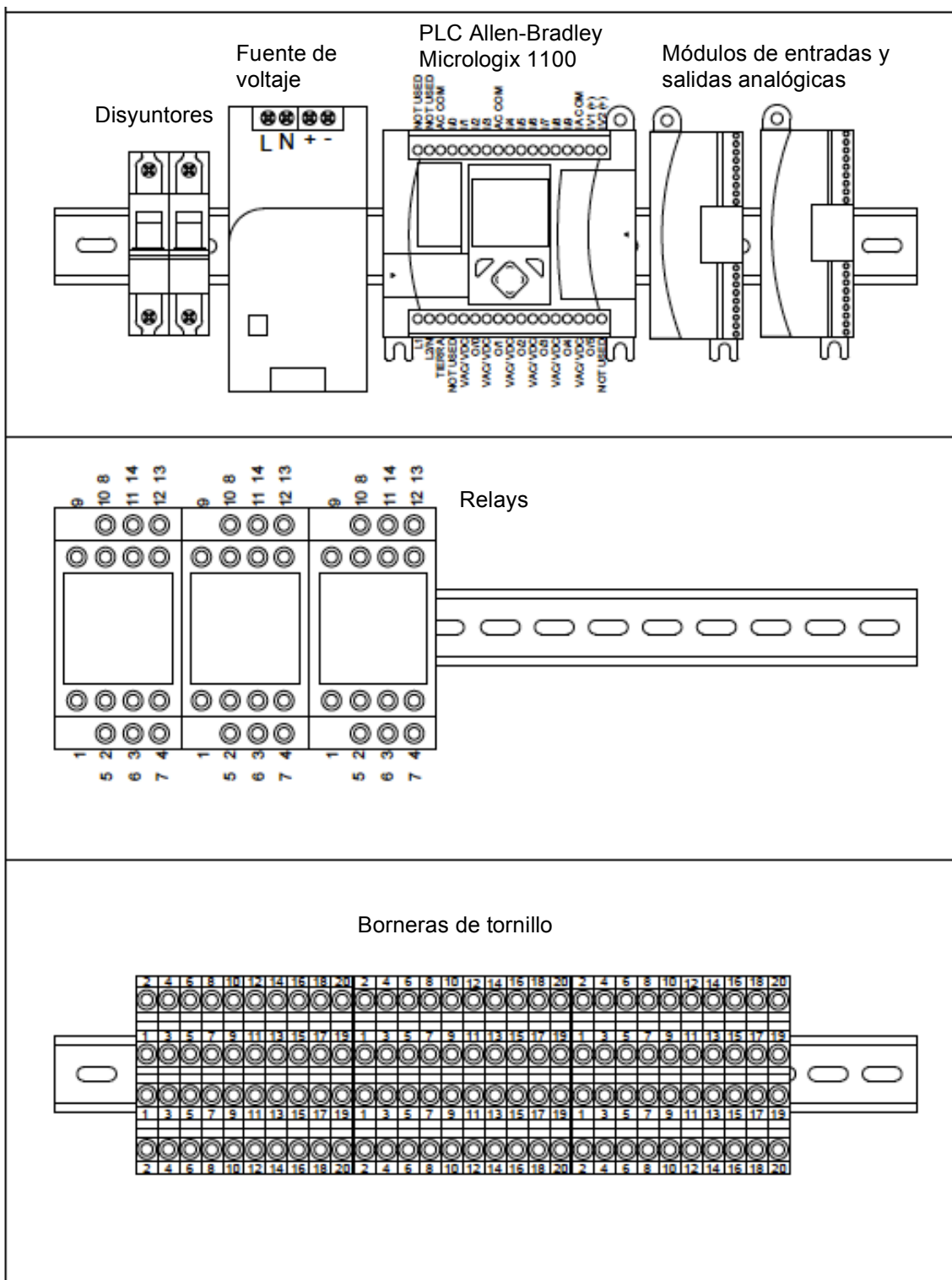


Figura 13. Puerta del panel de control principal de la columna de extracción líquido-líquido.

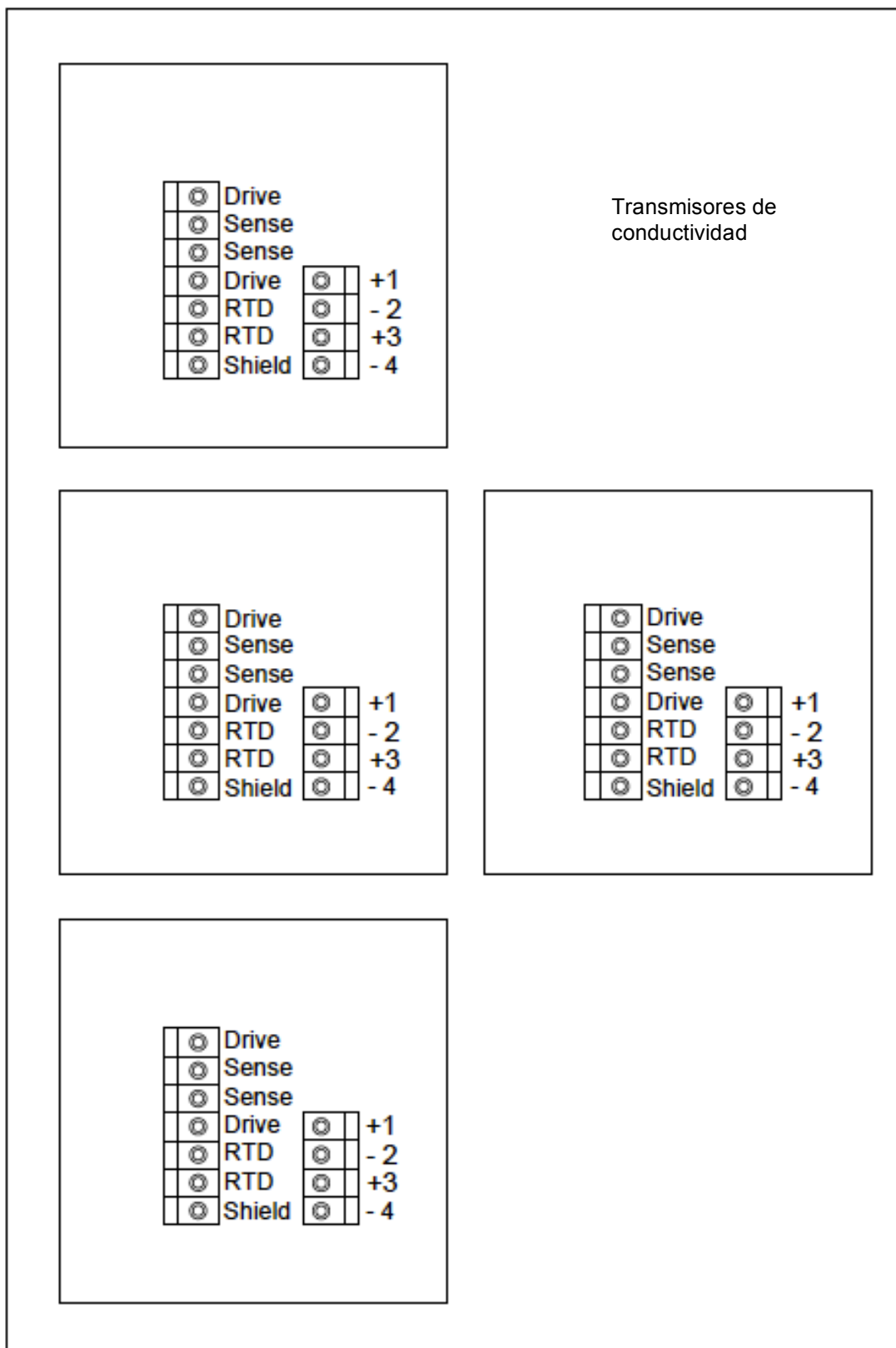


Figura 14. Panel de control secundario de la columna de extracción líquido-líquido.

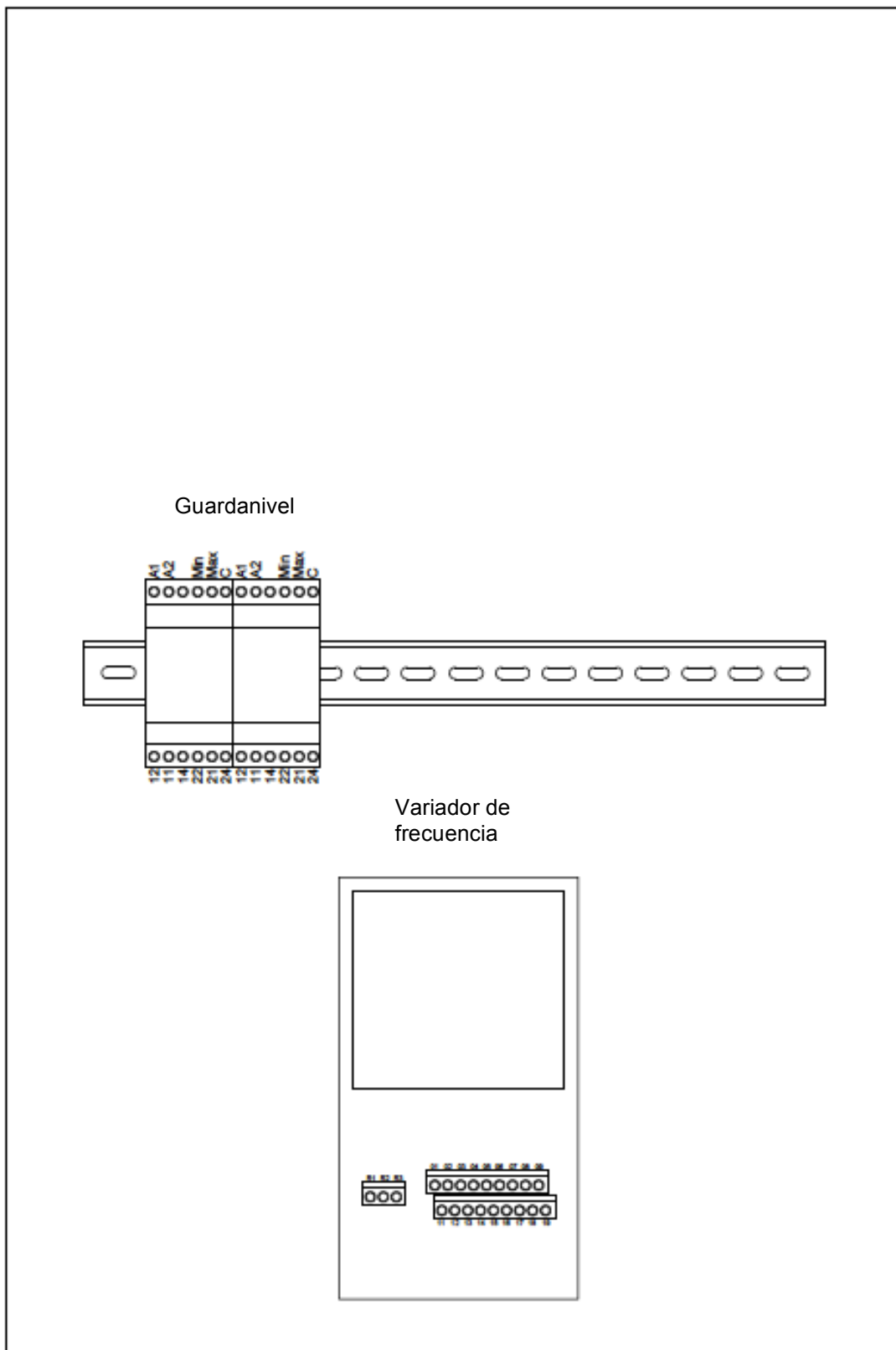
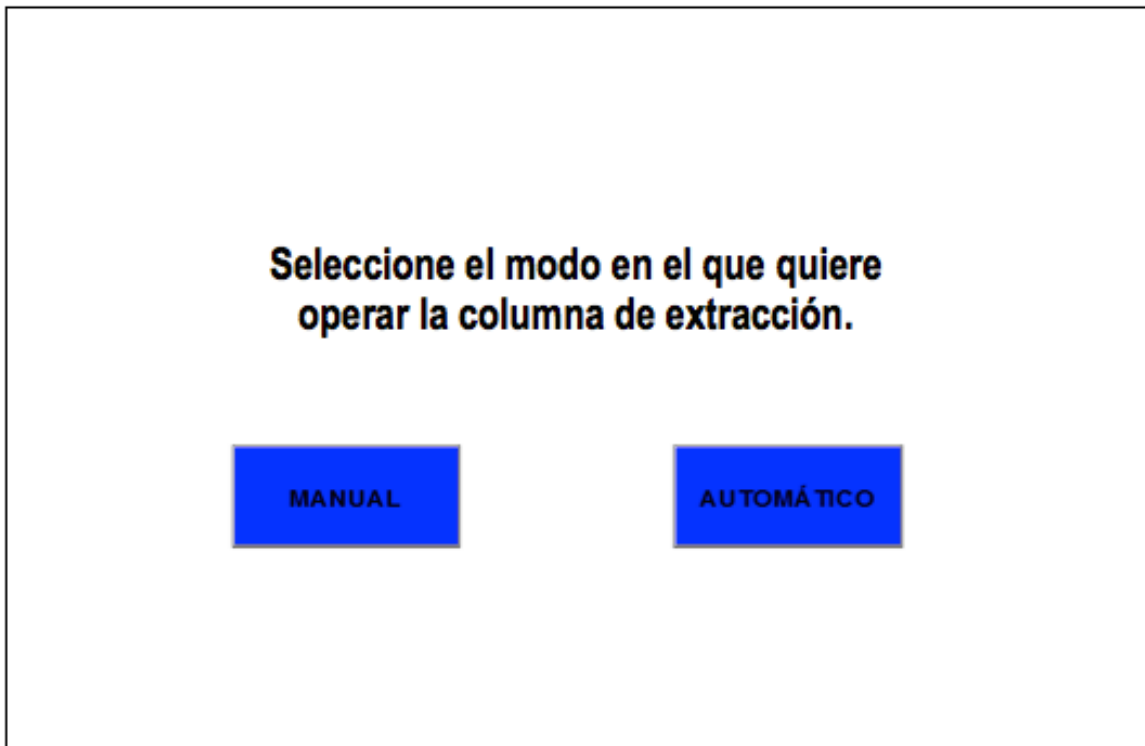
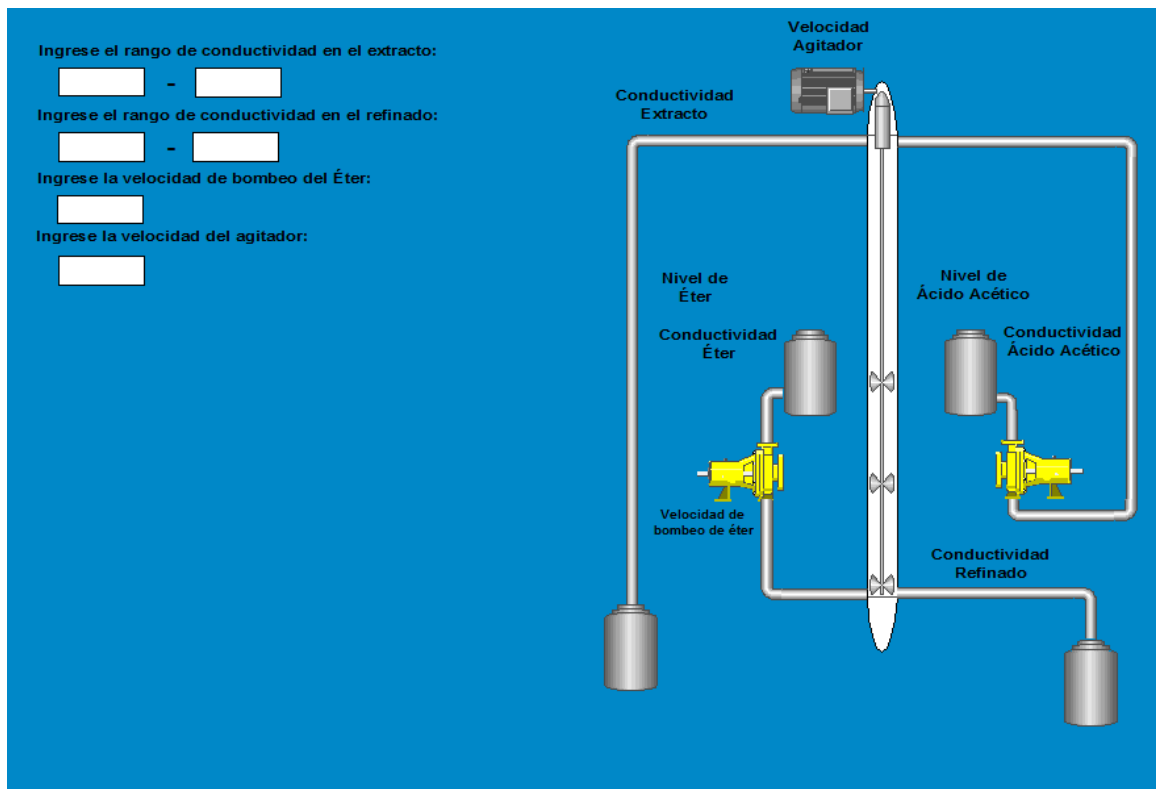


Figura 15. Pantalla principal de la interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido.



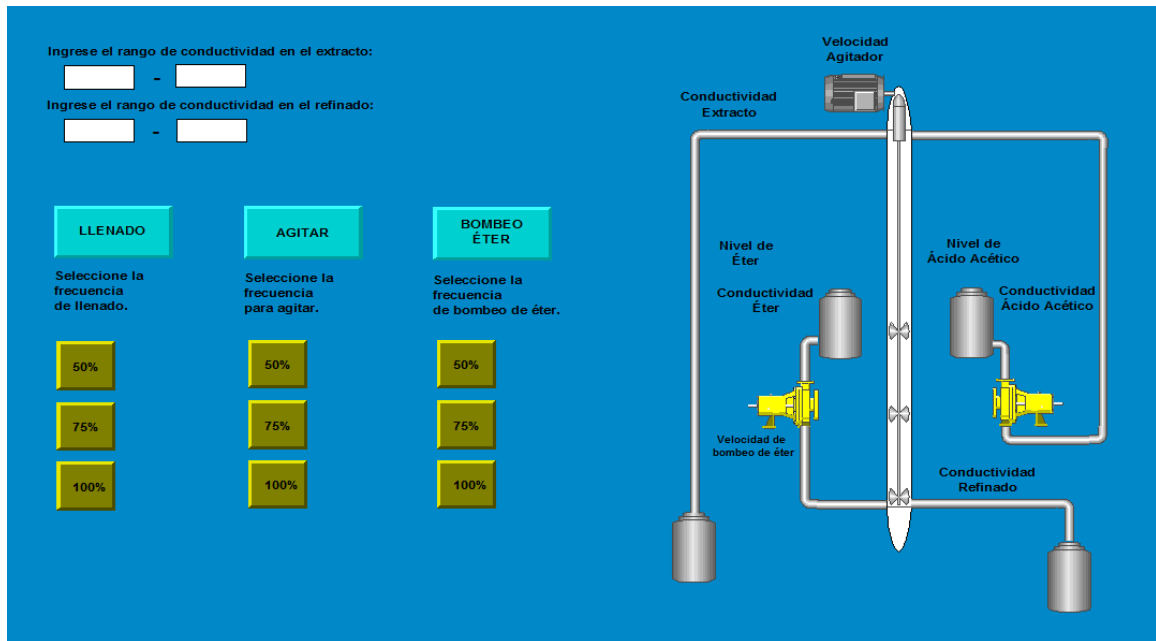
En la pantalla principal se muestra dos botones para seleccionar el modo en el que quiere operar la columna de extracción. Si se selecciona el modo manual, se le presentará al usuario la pantalla de operación en modo manual. Por el contrario, si se selecciona el modo automático, se mostrará en pantalla la interfaz gráfica para operar la columna de extracción en modo automático.

Figura 16. Pantalla de modo automático de la interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido.



En la pantalla de modo automático, se presentan cuadros de entrada de datos para ingresar los valores del rango de conductividad que se desean en las salidas, extracto y refinado. Además se le solicita al usuario que ingrese la velocidad de bombeo del éter hacia la columna y la velocidad con que el agitador debe operar.

Figura 17. Pantalla de modo manual de la interfaz gráfica de la columna de extracción líquido-líquido.



Por último, en la pantalla de modo manual, nuevamente se le solicita al usuario ingresar los valores del rango de conductividad en las salidas. Además, el usuario puede seleccionar a la frecuencia que desea manejar el agitador y el bombeo del éter. Esto podrá realizarlo mientras el proceso se encuentra en ejecución. Además podrá ajustar la velocidad del llenado del ácido acético hacia la columna mientras esta se encuentra en ejecución.

Una vez elaborado el diagrama P&ID y el listado de señales, se pasó a realizar el diagrama eléctrico unifilar de la columna de extracción líquido-líquido. Este está conformado por las conexiones eléctricas de la fuente de voltaje, el PLC con las entradas y salidas digitales y los módulos de entradas y salidas analógicas. Este se realizó en el software AutoCAD Electrical 2015.

VIII. DISCUSIÓN

En la columna de extracción, habían tres sensores de conductividad por lo que se mandó a comprar uno extra para la medición en una de las salidas. El sensor de conductividad que se mandó a comprar es seleccionado especialmente para esta aplicación por los fluidos que se manejan durante el proceso de extracción, el éter y el ácido acético consume materiales como plástico por lo que se necesitaba que fuera de acero inoxidable para que no se desintegrara mientras se utilizaba la columna. El sensor de conductividad necesita un transmisor e indicador de conductividad para que le PLC reciba la señal analógica de medición de los sensores. Además, por ser también un indicador, se muestran en pantalla los valores de conductividad medidos por cada sensor.

En la columna, no se encontraba ningún sensor de nivel con su guardanivel por lo que se mandaron a comprar dos sensores nuevos. Estos también se mandaron a comprar de acero inoxidable ya que estos se encuentran dentro de los tanques 1 y 2 de éter y ácido acético respectivamente. Los sensores de nivel necesitan de un guardanivel para poder procesar la señal como un valor digital, de esa manera, puede recibirlo el PLC y realizar una acción a partir de las señales dadas.

Se verificó el funcionamiento del resto de equipo, como las bombas dosificadoras y el variador de frecuencia con el motor trifásico. Al verificar las bombas dosificadoras, se evaluó que estas si fueran de un material resistente a los fluidos que se utilizan durante el proceso. Se necesita verificar constantemente que el empaque no tenga fugas ya que este es de plástico y los fluidos utilizados desintegran este material. Por el otro lado, el agitador también es de plástico por lo que constantemente se debe reajustar las aspas del mismo ya que estas se deforman fácilmente luego de agitar los fluidos dentro de la columna.

Durante el proceso, se evalúan ciertas condiciones para que las salidas del sistema sean las deseadas según la extracción que se desea realizar. De esta forma, se evalúa la conductividad en las salidas de extracto y refinado. El usuario ingresa un rango de conductividad deseado en las salidas y la medición se compara con estas ingresadas. De esta manera, se determina si el ingreso de éter a la columna debe ser más constante activando la bomba dosificadora 1 para realizar la extracción. Este rango de conductividad en las salidas dependen de la agitación y de la cantidad de éter que ingrese a la columna, y debe ser ingresado por el usuario. Lo que hará el sistema será trabajar con histéresis dentro de un rango ingresado para poder mantener la conductividad del extracto y refinado en las cantidades que el usuario desee.

En el extracto, se desea tener mayor ácido acético mezclado con éter. Para analizar la conductividad en el extracto, el sistema ingresará más éter y agitará a mayor frecuencia si el valor de conductividad medido está cerca del valor bajo del rango ingresado e ingresará menor éter y agitará menos si la conductividad se encuentra cerca del valor alto.

En el refinado, se desea que haya menos ácido acético mezclado con el agua. Para esto, si el valor de conductividad medido se encuentra cerca del valor alto del rango ingresado, se ingresará mayor éter y se agitará a una mayor frecuencia. Se hará lo contrario cuando el valor de conductividad medido se encuentre cerca del valor bajo de conductividad del rango.

También se evalúa constantemente si el nivel en los tanques 1 y 2 ya es bajo utilizando los sensores de nivel para decidir si el sistema debe parar o si aún se puede seguir con el proceso de extracción.

Se utilizan solamente dos bombas dosificadoras ya que se debe bombear éter y ácido acético desde dos distintos tanques. Las bombas dosificadoras se comunican con el PLC por dos tipos de señales. Tienen una señal analógica para poder variar la frecuencia de bombeo con la que el usuario desea ingresar ambos fluidos a la torre. Además, utilizan una señal digital para apagarse o encenderse cuando el usuario lo desee si es que solamente desea ingresar uno de los dos fluidos hacia la columna.

El motor trifásico es utilizado como agitador en la columna. Este motor trifásico tiene conectado un variador de frecuencia para poder cambiar la velocidad de agitación en la columna además de encender y apagar el motor trifásico. No se utilizó un contactor para este motor ya que no sería posible variar la velocidad de agitación. El variador de frecuencia es el que se comunica con el PLC, la señal desde el PLC debe de pasar por el variador para que el motor trifásico realice una acción. Es necesario para el usuario variar la velocidad de agitación porque el proceso de extracción puede necesitar mayor agitación para obtener mejores resultados en la salida del refinado y el extracto, para separar mejor el ácido acético del agua.

Por último, en el diagrama P&ID, las salidas se ven representadas por el tanque 3 y 4 que son el refinado y el extracto respectivamente. La conductividad medida en estos dos puntos es la que se evalúa con una condición para determinar si se debe ingresar el éter a un mayor flujo de corriente. Esta señal de conductividad se maneja de la misma manera que las otras señales de conductividad mencionadas anteriormente.

La interfaz gráfica está formada por distintas pantallas. En la pantalla principal se muestra el modo automático o manual, dos botones para que seleccione el usuario a que pantalla siguiente quiere dirigirse. Si se selecciona el modo automático, el software solicitará al usuario ingresar ciertos valores como el rango de conductividad deseada en el extracto y en el refinado al igual que la frecuencia de bombeo de cada bomba dosificadora. Si el operador selecciona el modo manual, se le dirigirá a otra pantalla donde se le solicitará al usuario ingresar los mismos valores además de que podrá seleccionar cuando apagar y encender las bombas dosificadoras.

Por último, ya que la aplicación donde se utiliza el PLC no es tan demandante en cuanto a la cantidad de señales digitales y analógicas de entrada y salida utilizadas, el PLC que se utilizó es semi-modular. Esto significa que tiene suficientes entradas y salidas digitales para una aplicación pequeña pero con la capacidad de expandir las señales con módulos adicionales. Ya que el PLC solamente tiene capacidad para dos entradas analógicas, se expandió la cantidad de señales analógicas utilizando dos módulos adicionales, uno para cuatro entradas analógicas y otro para cuatro salidas analógicas.

IX. CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo la restauración de la instrumentación electrónica y las conexiones de proceso faltantes en la columna de extracción para garantizar el buen funcionamiento del proceso.
- Se elaboró un diagrama unifilar de conexiones eléctricas de la columna de extracción utilizando el software AutoCAD Electrical 2016 para facilitar el proceso de restauración y proveer una herramienta avanzada de diagnóstico de fallas.
- Se elaboró un diagrama de proceso e instrumentación de la columna de extracción utilizando el software EdrawMax para facilitar la comprensión del proceso y proveer una herramienta básica de diagnóstico.
- Se integró el nuevo sistema de control de la columna de extracción al PLC Micrologix 1100 fabricado por Allen-Bradley.
- Se diseñó una interfaz gráfica de control (HMI) para la columna de extracción utilizando el software FactoryTalk View Studio que permite monitorear las variables críticas del proceso.

X. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar tanques de acero inoxidable en vez de tanques de plástico ya que estos se desintegran con el tiempo por ácido acético y éter que se utilizan.
- Se recomienda cambiar la columna de vidrio ya que esta tiene partes que fueron impresas con impresoras 3D para sellar las partes rajadas. De esta forma, se vería mejor la interface del proceso de extracción.
- Se aconseja utilizar una válvula proporcional en la salida del refinado para ir controlando desde la computadora la apertura de la válvula utilizando una señal analógica.
- Se sugiere buscar algún instrumento electrónico para medir la interface entre el éter y el ácido acético dentro de la columna de extracción.
- Es necesario realizar mantenimiento a la columna de extracción para alargar su tiempo de vida. Como el proceso involucra ácido acético, se recomienda cambiar los empaques de las bombas dosificadoras cada cierto tiempo para que no hayan fugas y siempre se deben verificar todas las conexiones del panel.
- Se aconseja ajustar las aspas del eje que agita dentro de la columna y cambiarlas cada cierto tiempo ya que el ácido acético y el éter desintegran el plástico del eje.

XI. BIBLIOGRAFÍA

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> [10 de octubre de 2017]

Allen-Bradley. 2017. *Variadores de CA PowerFlex 40*. Estados Unidos. <http://ab.rockwellautomation.com/es/Drives/PowerFlex-40> [10 de octubre de 2017]

Costa, José. 1998. *Curso de ingeniería química: introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Editorial Reverte. Barcelona, España.

Coulson J. M.; Richardson J. F. 2003. *Ingeniería química, operaciones básicas*. Tomo II. España. Reverté, S. A.

EcuRed. 2017. *Extracción Líquido-Líquido*. Cuba. https://www.ecured.cu/Extracción_L%C3%ADquido-L%C3%ADquido [10 de octubre de 2017]

EcuRed. 2017. *Motor eléctrico trifásico*. Cuba. https://www.ecured.cu/Motor_eléctrico_trifásico [10 de octubre de 2017]

González, Mónica. 2011. *Extracción química*. Argentina. <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/extraccion-quimica> [9 de octubre de 2017]

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

Instituto Politécnico Nacional – UPIIG. 2015. *Introducción Extracción Líquido-Líquido*. México. <https://sites.google.com/site/extraccionliqliqpnupiig/extraccion-liquido-liquido> [10 de octubre de 2017]

Procesos Bio. 2017. *Extracción líquido-líquido*. Barcelona, España. <http://procesosbio.wikispaces.com/Extracción+liquido-liquido> [9 de octubre de 2017]

Prominent. 2017. *Bombas de dosificación*. Alemania.

<https://www.prominent.es/es/Products/Products/Bombas-de-dosificación/pg-metering-pumps.html>

[10 de octubre de 2017]

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

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

Rockwell Automation. 2017. *FactoryTalk View Machine Edition*. Wisconsin. Estados Unidos. 561 págs. http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-um004_-en-e.pdf

Rockwell Automation. 2017. *FactoryTalk View Site Edition*. Wisconsin. Estados Unidos 643 págs. http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewse-um006_-en-e.pdf

Rockwell Automation. 2017. *RSLogix 500*

<http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/products/rslogix500.page#overview> [4 de octubre de 2017]

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.

Tejeda, A., et al. 2011. *Bioseparaciones*. Pearson. Universidad de Sonora. México.

Universidad de Barcelona. 2016. *Extracción: Fundamento de la técnica*. Barcelona, España.

http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_fona.html [9 de octubre de 2017]

Universidad de Barcelona. 2016. *Extracción: Tipos de Extracciones*. Barcelona, España. http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_tip.html [9 de octubre de 2017]

Universidad de los Andes. 2010. *Extracción líquido-líquido*. Venezuela. 25 págs. <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/moira/clases/clase4a> [9 de octubre de 2017]

Universidad de Valencia. 2016. *Conductividad en disoluciones electrolíticas*. Valencia, España. 12 págs. http://www.uv.es/qflab/2016_17/descargas/cuadernillos/qf1/castellano/Teoria/Conductividad-F.pdf [10 de octubre de 2017]

Vázquez, Emilio, *et al.* 2013. *Operaciones de Transferencia de Masa II: Extracción Líquido-Líquido*. México. 45 págs. <https://es.scribd.com/doc/145484233/EXTRACCION-LIQUIDO-LIQUIDO> [10 de octubre de 2017]

Warren, McCabe; Smith, Julian. 1998. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 1199 págs.

XII. ANEXOS

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Caratula			
	-	1 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 1

4

3

2

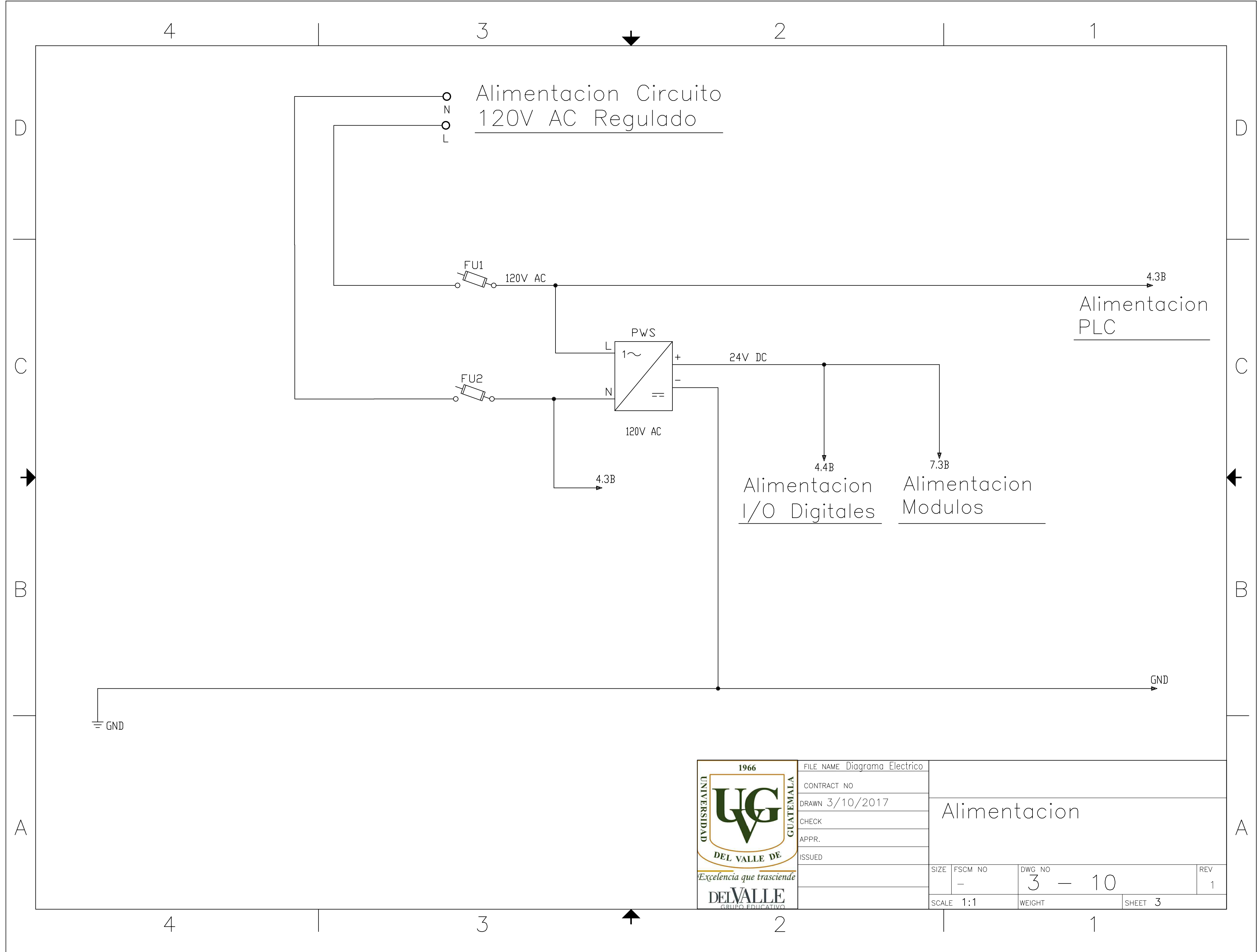
1

Diagrama Electrico					
FILE	SHEET	DESCRIPCION	N. REV.	MODIFY	FECHA
Diagrama Electrico	1	Caratula	1	C. Contruido	08/09/2917
	2	Indice Hojas	1	C. Construido	08/09/2017
	3	Alimentacion	1	C. Construido	08/09/2017
	4	PLC, I/O Dig.	1	C. Construido	08/09/2017
	5	Bornera	1	C. Construido	08/09/2017
	6	INPUT Analogico	1	C. Construido	08/09/2017
	7	OUTPUT Analog.	1	C. Construido	08/09/2017
	8	Bomba dosif.	1	C. Construido	03/10/2017
	9	Variador Frec.	1	C. Construido	03/10/2017
	10	Transmisor	1	C. Construido	03/10/2017



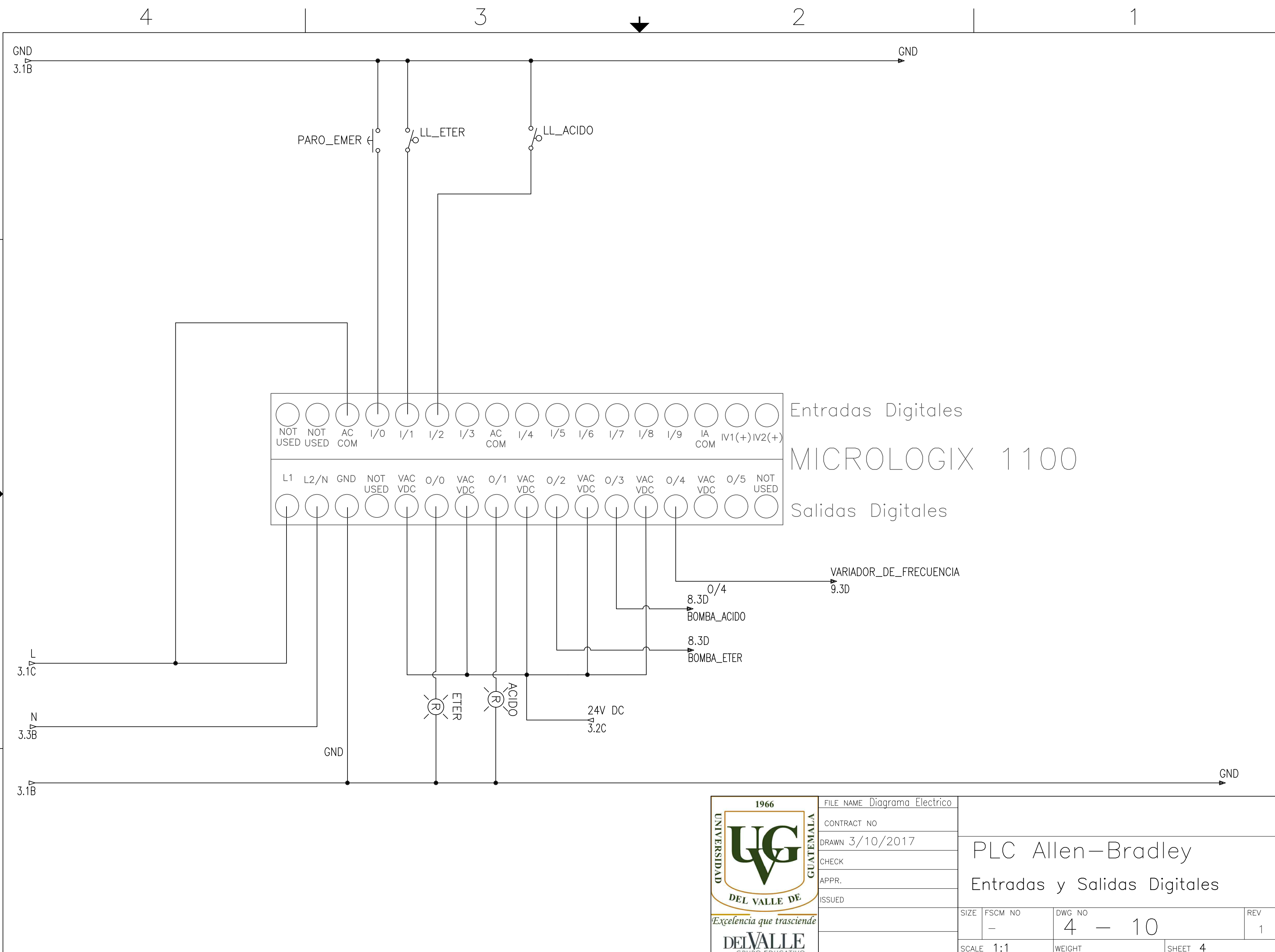
FILE NAME	Diagrama Electrico	
CONTRACT NO		
DRAWN	8/9/2017	
CHECK		
APPR.	Mario Burbano	
ISSUED		

Dulce Chacon			
Indice de Hojas			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	2 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 2



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Alimentacion			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	3 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 3



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

PLC Allen-Bradley			
Entradas y Salidas Digitales			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	4 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 4

4

3

2

1

D

D

C

C

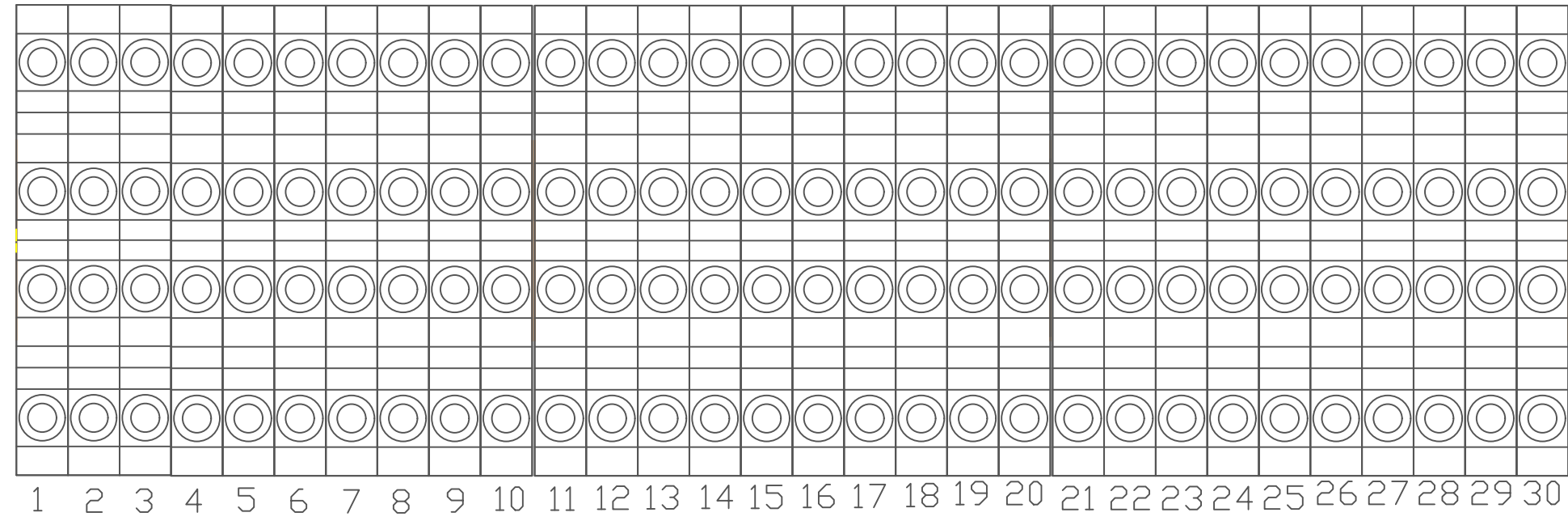
B

B

A

A

Bornera
Salidas de Panel



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

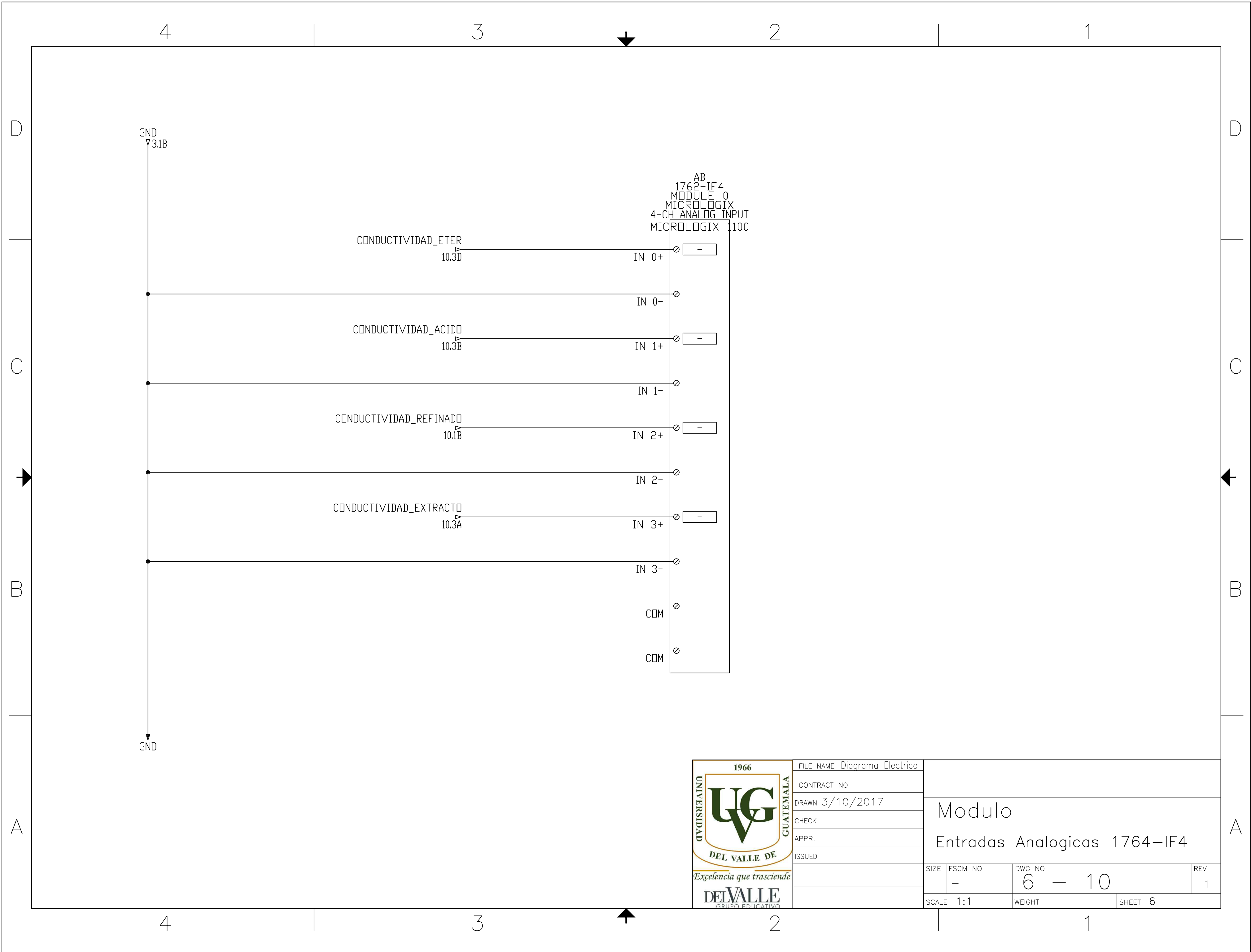
Bornera			
Salidas de Panel			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	5 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 5

4

3

2

1



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Modulo			
Entradas Analogicas 1764-IF4			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	6 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 6

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A

AB
 1762-OF4
 MODULE 1
 MICROLOGIX
 4-CH ANALOG OUTPUT
 MICROLOGIX 1100

A+0

V OUT 0

A+0

I OUT 0

AGITADOR
9.2B

A+1

V OUT 1

A+1

I OUT 1

BOMBA_ETER
8.4B

A+2

V OUT 2

A+2

I OUT 2

BOMBA_ACIDO
8.2B

A+3

V OUT 3

A+3

I OUT 3

GND
3.1B

COM

COM



FILE NAME Diagrama Electrico

CONTRACT NO

DRAWN 3/10/2017

CHECK

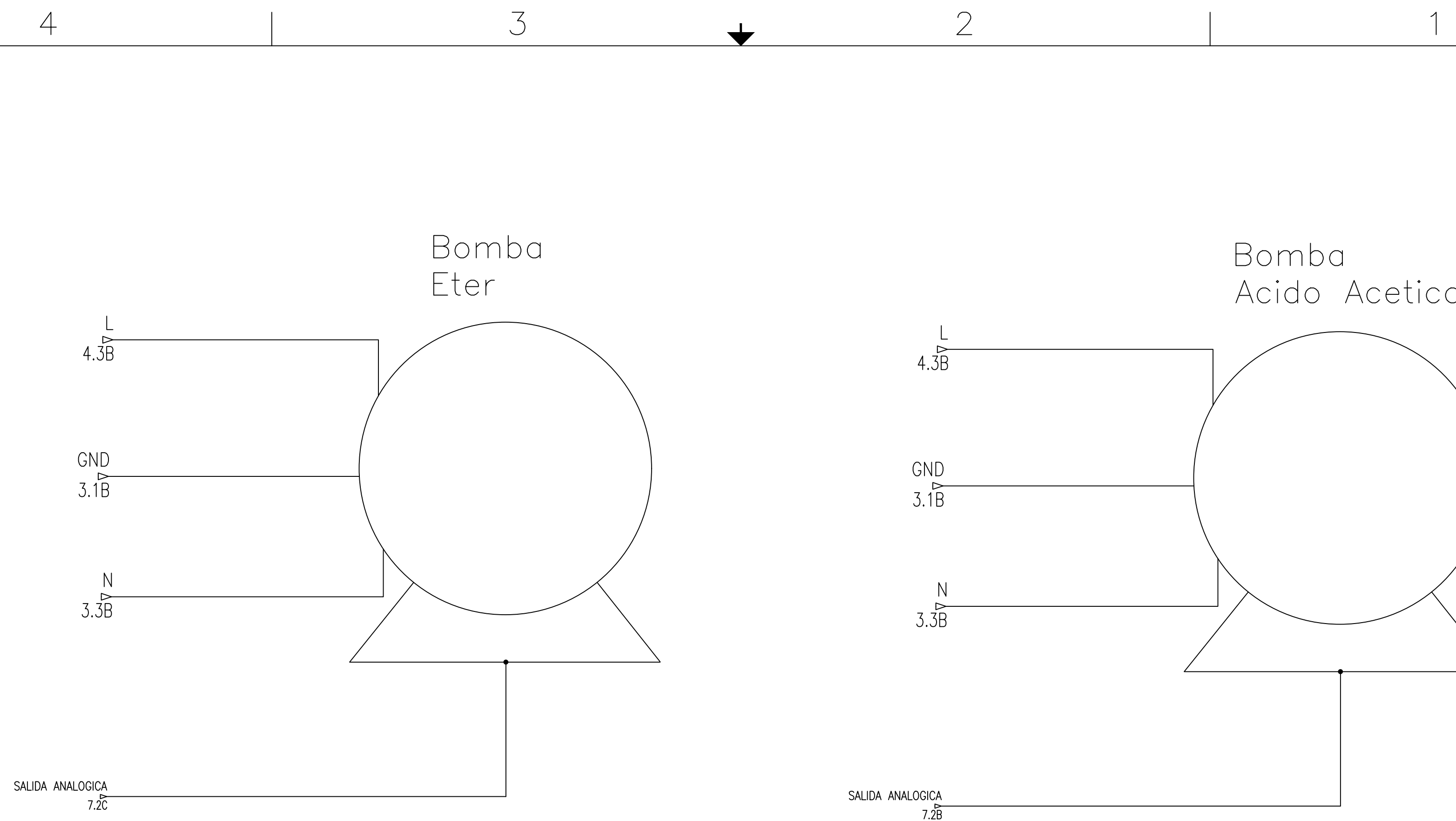
APPR.

ISSUED

Modulo

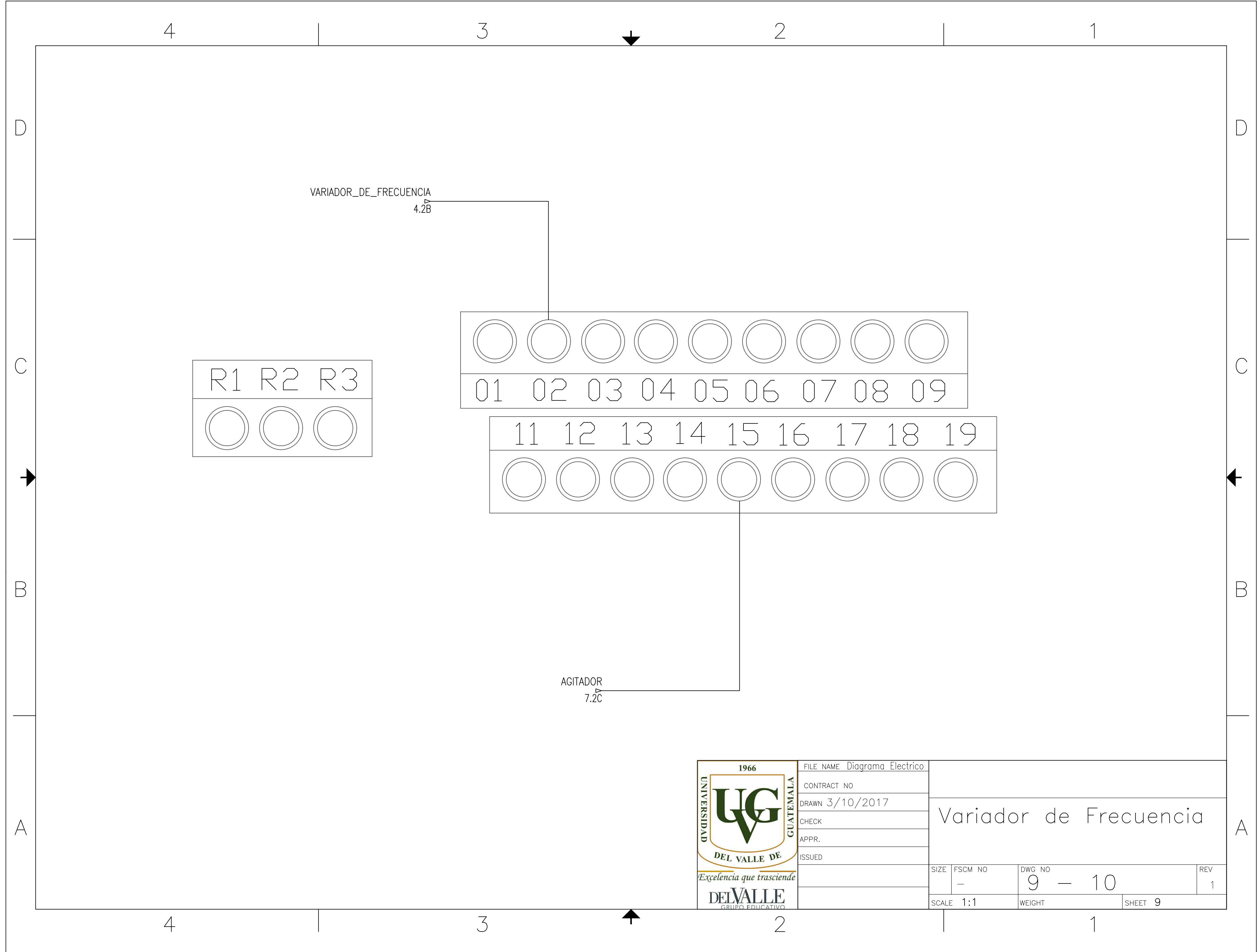
Salidas Analogicas 1764-OF4

SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	7 - 10	1
SCALE 1:1	WEIGHT	SHEET 7	



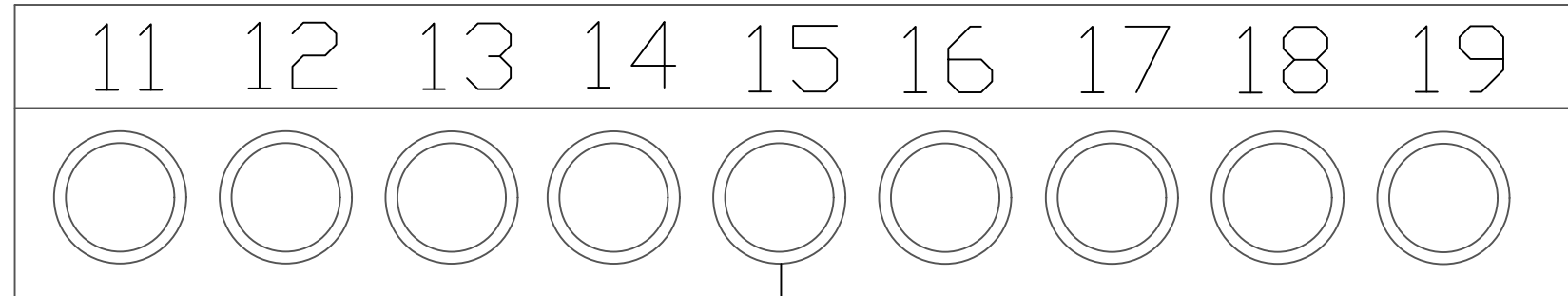
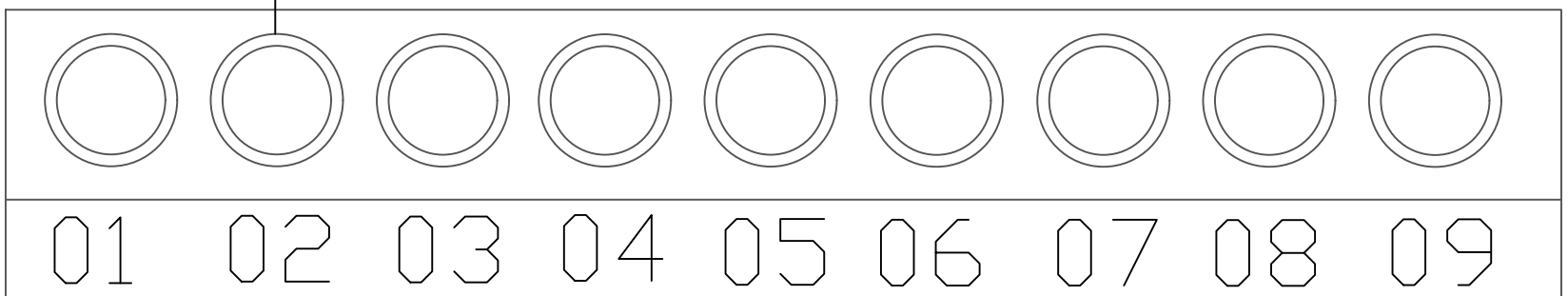
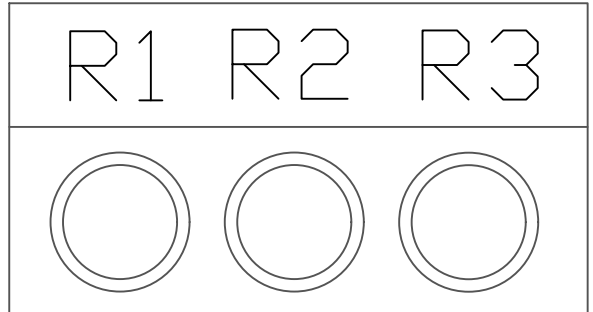
	FILE NAME	Diagrama Electrico		
	CONTRACT NO			
	DRAWN	3/10/2017		
	CHECK			
	APPR.			
ISSUED				
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV	
	-	8 - 10	1	
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 8	

Bombas Dosificadoras



VARIADOR_DE_FRECUENCIA
4.2B

AGITADOR
7.2C



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Variador de Frecuencia			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	9 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 9

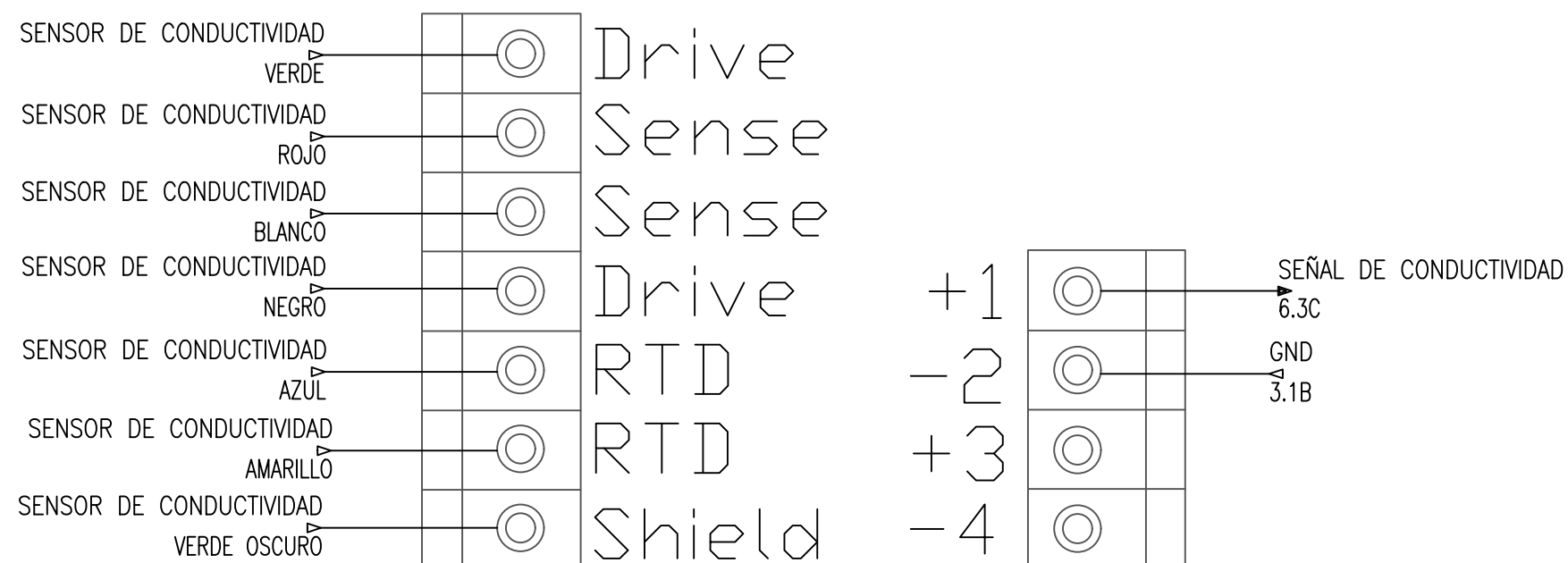
4

3

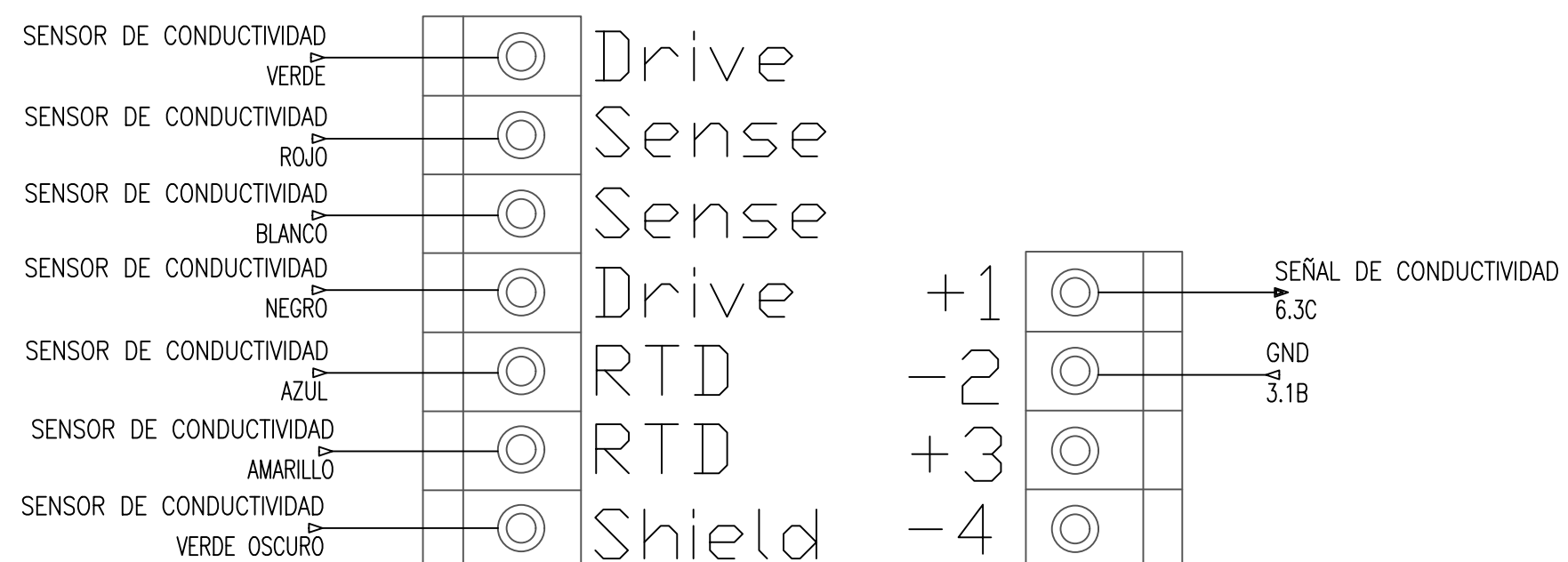
2

1

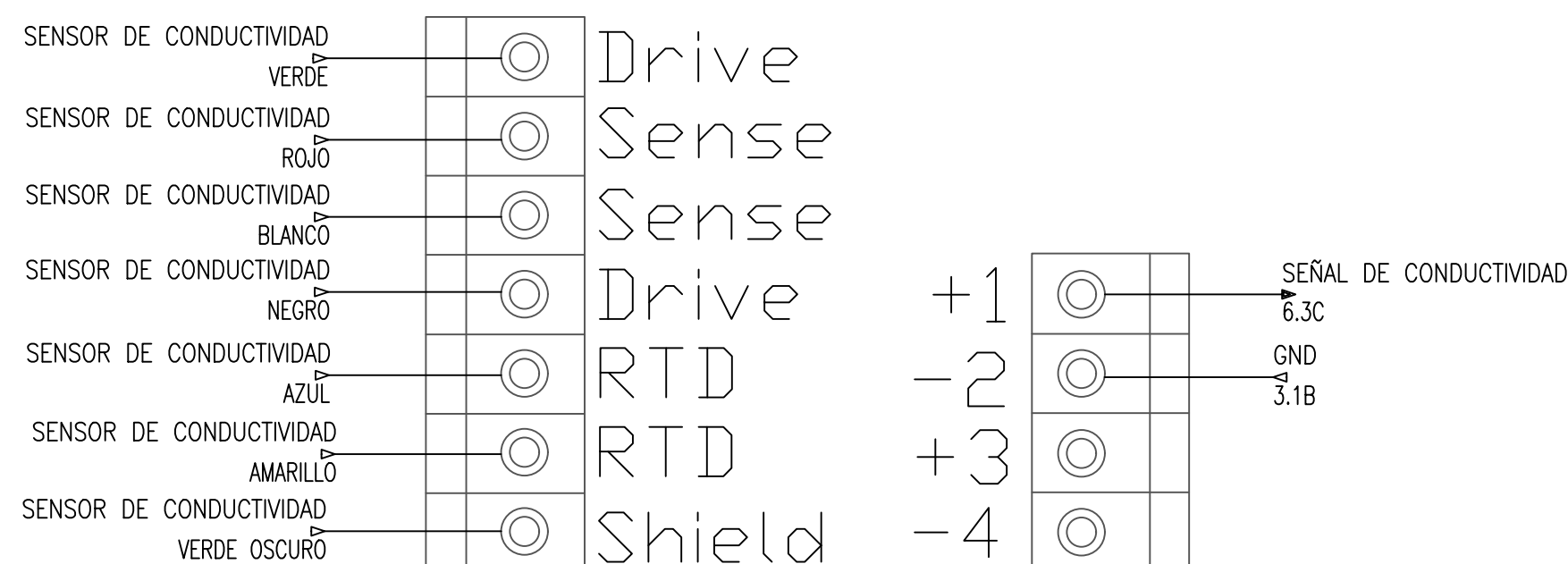
Conductividad_Eter



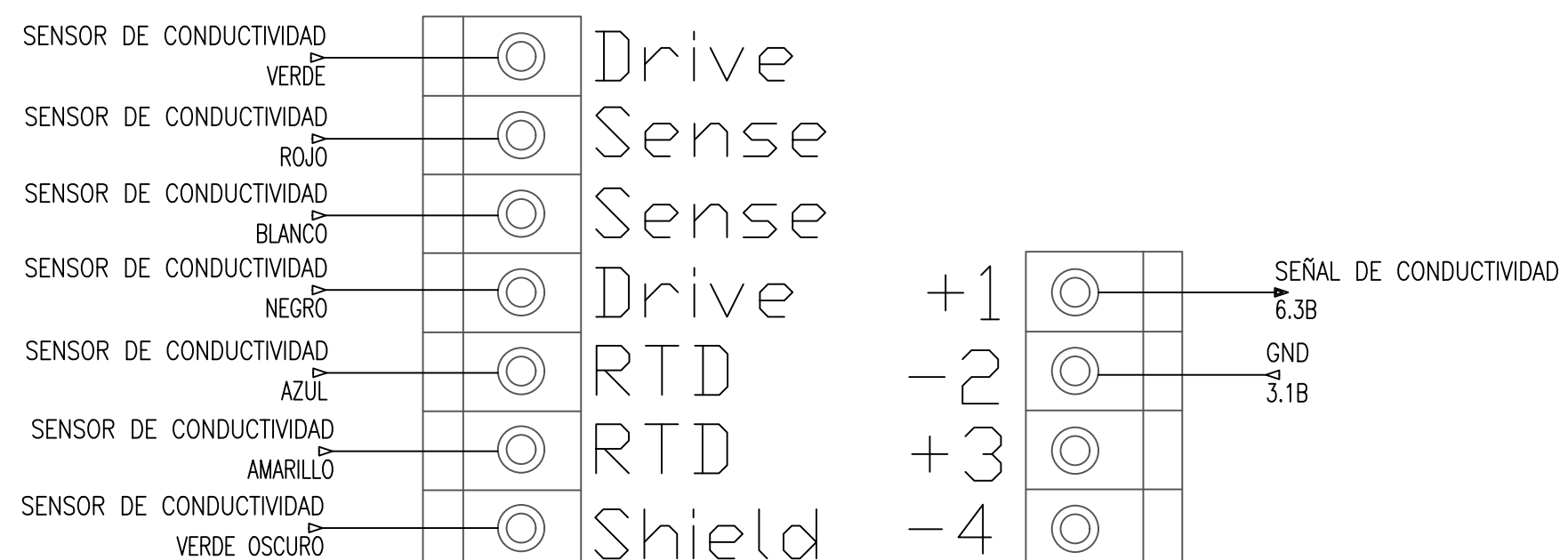
Conductividad_Acido



Conductividad_Refinado



Conductividad_Extracto



FILE NAME	Diagrama Electrico
CONTRACT NO	
DRAWN	3/10/2017
CHECK	
APPR.	
ISSUED	

Transmisor Conductividad			
TB82EC			
SIZE	FSCM NO	DWG NO	REV
	-	10 - 10	1
SCALE	1:1	WEIGHT	SHEET 10

4

3

2

1

Processor Information

Processor Type: Bul.1763 MicroLogix 1100 Series B

Processor Name: XTRAXION

Total Memory Used: *

Total Memory Left: *

Program Files: 8

Data Files: 24

Program ID: 0

I/O Configuration

0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
1	1762-IF4	Analog 4 Chan. Input
2	1762-OF4	4-Channel Analog I/V Output Module
3		
4		

Channel Configuration

CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex

CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex Edit Resource/Owner Timeout: 60
CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex Passthru Link ID: 1
CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex Write Protected: No
CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex Comms Servicing Selection: Yes
CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex Message Servicing Selection: Yes
CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex 1st AWA Append Character: \d
CHANNEL 0 (SYSTEM) - Driver: DF1 Full Duplex 2nd AWA Append Character: \a

Source ID: 1 (decimal)
Baud: 19200
Parity: NONE
Control Line : No Handshaking
Error Detection: CRC
Embedded Responses: Auto Detect
Duplicate Packet Detect: Yes
ACK Timeout(x20 ms): 50
NAK Retries: 3
ENQ Retries: 3

CHANNEL 1 (SYSTEM) - Driver: Ethernet

CHANNEL 1 (SYSTEM) - Driver: Ethernet Edit Resource/Owner Timeout: 60
CHANNEL 1 (SYSTEM) - Driver: Ethernet Passthru Link ID: 1
CHANNEL 1 (SYSTEM) - Driver: Ethernet Write Protected: No
CHANNEL 1 (SYSTEM) - Driver: Ethernet Comms Servicing Selection: Yes
CHANNEL 1 (SYSTEM) - Driver: Ethernet Message Servicing Selection: Yes

Hardware Address: 00:0F:73:02:2A:42
IP Address: 192.168.10.1
Subnet Mask: 255.255.255.0
Gateway Address: 0.0.0.0
Msg Connection Timeout (x 1mS): 15000
Msg Reply Timeout (x mS): 3000
Inactivity Timeout (x Min): 30
Bootp Enable: No
Dhcp Enable No
SNMP Enable: No
HTTP Enable: Yes
Auto Negotiate Enable: Yes
Port Speed Enable: 10/100 Mbps Full Duplex/Half Duplex
Contact:
Location:

Program File List

Name	Number	Type	Rungs	Debug	Bytes
[SYSTEM]	0	SYS	0	No	0
	1	SYS	0	No	0
MAIN	2	LADDER	36	No	1291
ETER	3	LADDER	5	No	279
ACIDO	4	LADDER	5	No	287
AGITADOR	6	LADDER	5	No	183
ANALOGICOS	7	LADDER	3	No	81
	8	LADDER	3	No	347

Data File List

Name	Number	Type	Scope	Debug	Words	Elements	Last
OUTPUT	0	O	Global	No	24	8	O:7
INPUT	1	I	Global	No	45	15	I:14
STATUS	2	S	Global	No	0	66	S:65
BINARY	3	B	Global	No	1	1	B3:0
TIMER	4	T	Global	No	3	1	T4:0
COUNTER	5	C	Global	No	3	1	C5:0
CONTROL	6	R	Global	No	3	1	R6:0
INTEGER	7	N	Global	No	1	1	N7:0
FLOAT	8	F	Global	No	2	1	F8:0
	9	N	Global	No	1	1	N9:0
	10	N	Global	No	1	1	N10:0
	11	N	Global	No	1	1	N11:0
	12	N	Global	No	1	1	N12:0
	13	T	Global	No	3	1	T13:0
	14	ST	Global	No	42	1	ST14:0
	15	ST	Global	No	42	1	ST15:0
	16	N	Global	No	1	1	N16:0
	17	N	Global	No	1	1	N17:0
	18	B	Global	No	2	2	B18:1
	19	F	Global	No	8	4	F19:3
	20	T	Global	No	6	2	T20:1
	21	F	Global	No	8	4	F21:3
	22	N	Global	No	4	4	N22:3
	23	N	Global	No	3	3	N23:2

0000

APLICA VALORES Y CONDICIONES INICIALES

First Pass

S:1

15

Stop Gral

B3:0

15

Manual

B3:0

1

Auto

B3:0

0

%Stroke bomba eter

MOV

Move	100
Source	100<
Dest	N16:0
	100<

%Stroke bomba acido

MOV

Move	100
Source	100<
Dest	N17:0
	100<

% Llenado Eter

MOV

Move	0.15
Source	0.15<
Dest	F19:0
	0.15<

% Llenado Acido

MOV

Move	0.75
Source	0.75<
Dest	F19:1
	0.75<

Rata bombeo eter

MOV

Move	85
Source	85<
Dest	N9:0
	85<

Rata bombeo acido

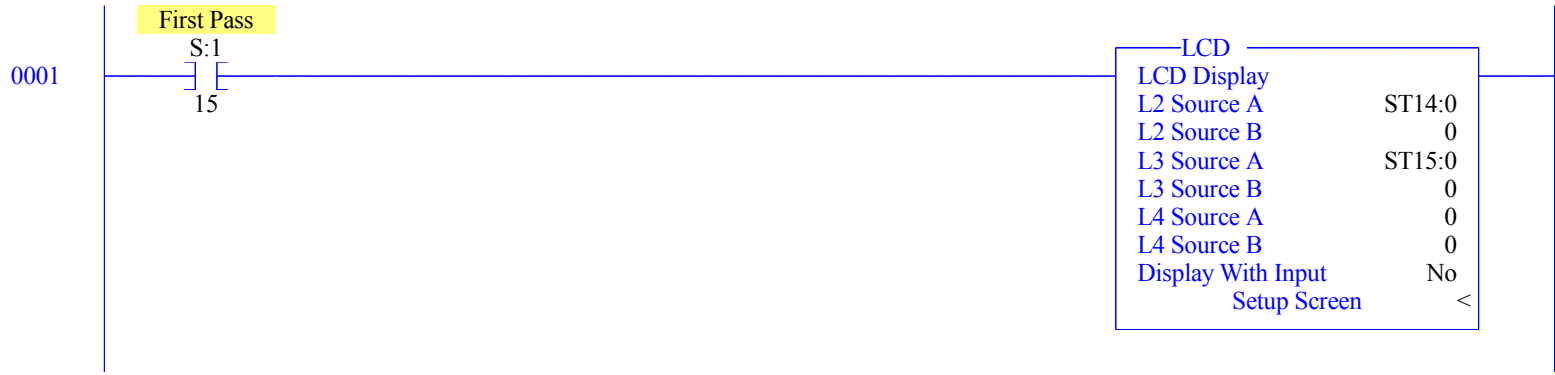
MOV

Move	85
Source	85<
Dest	N10:0
	85<

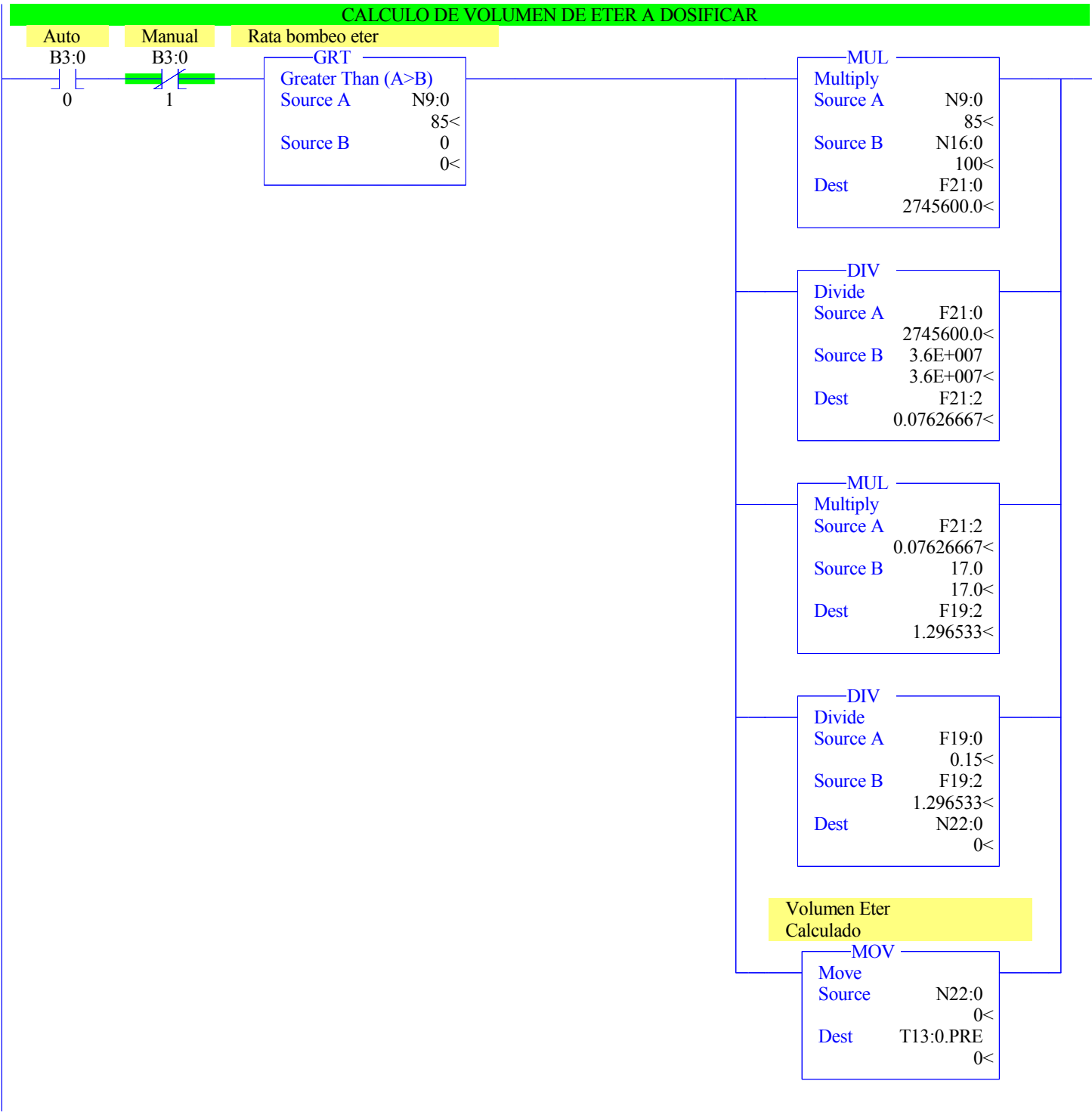
% Frecuencia agitador

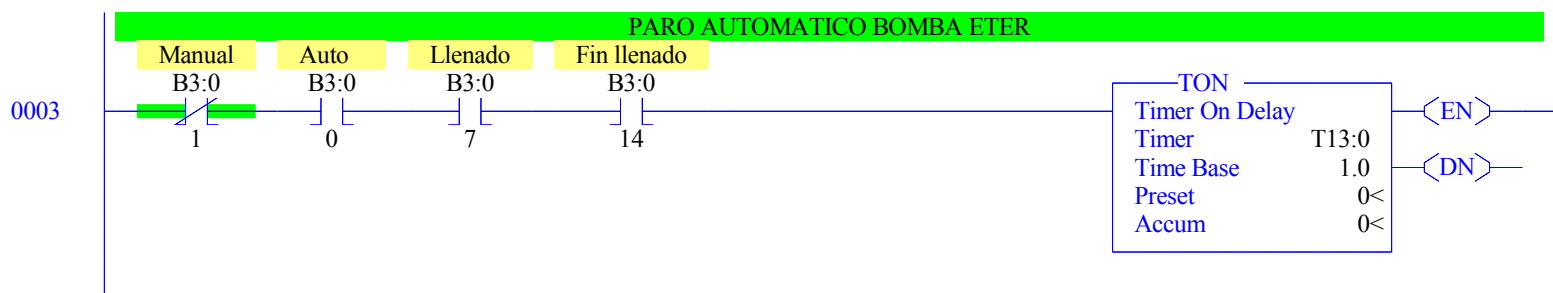
MOV

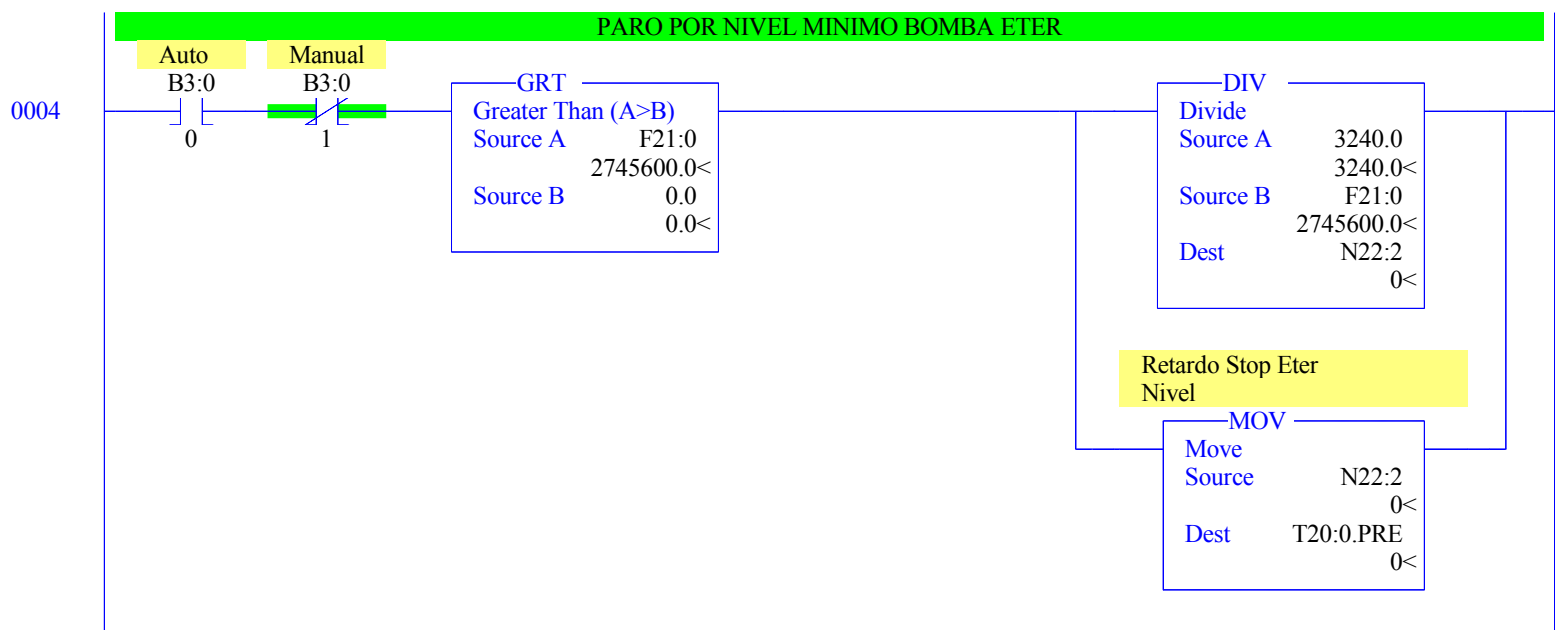
Move	8736
Source	8736<
Dest	N11:0
	8736<

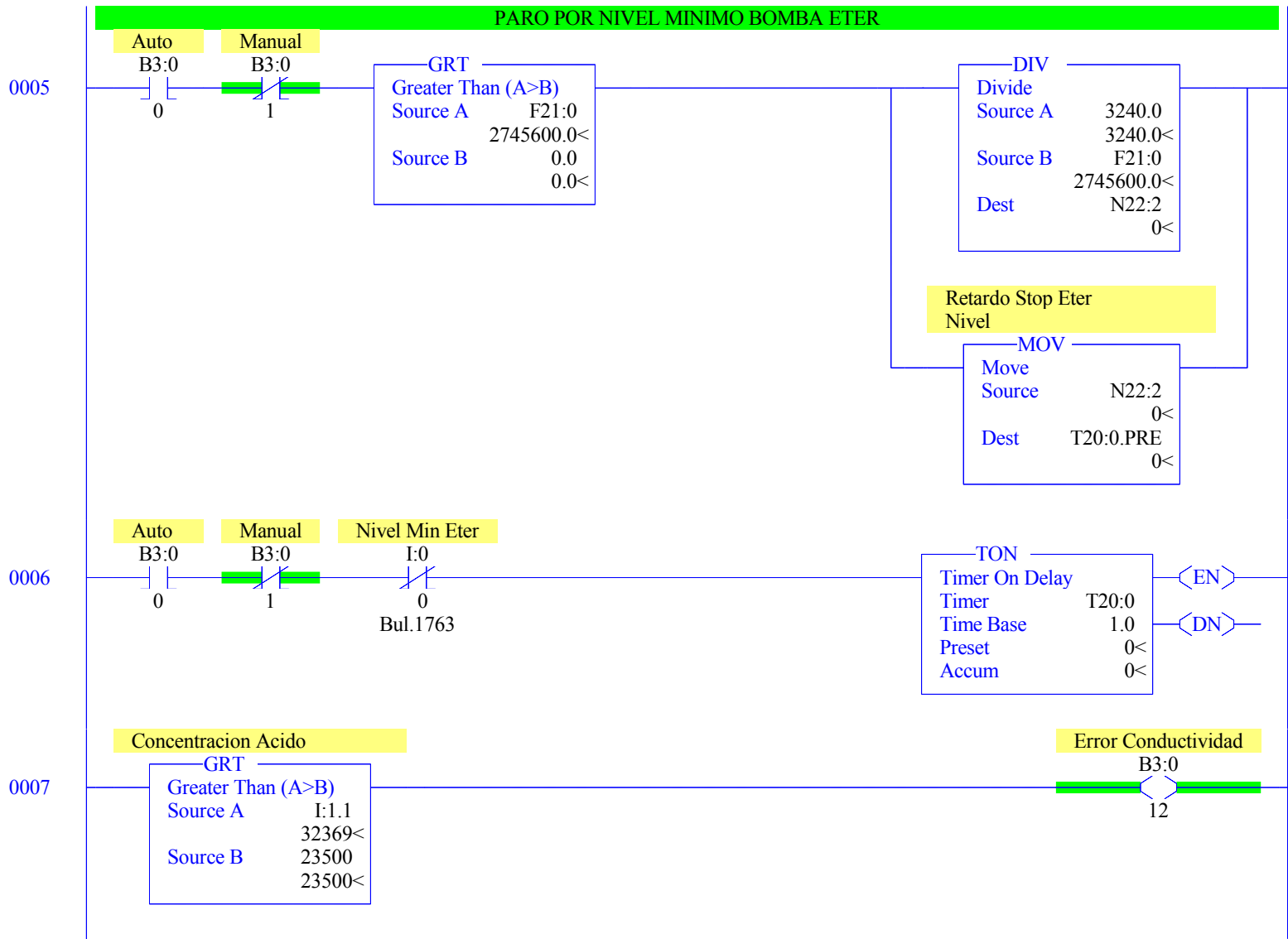


0002

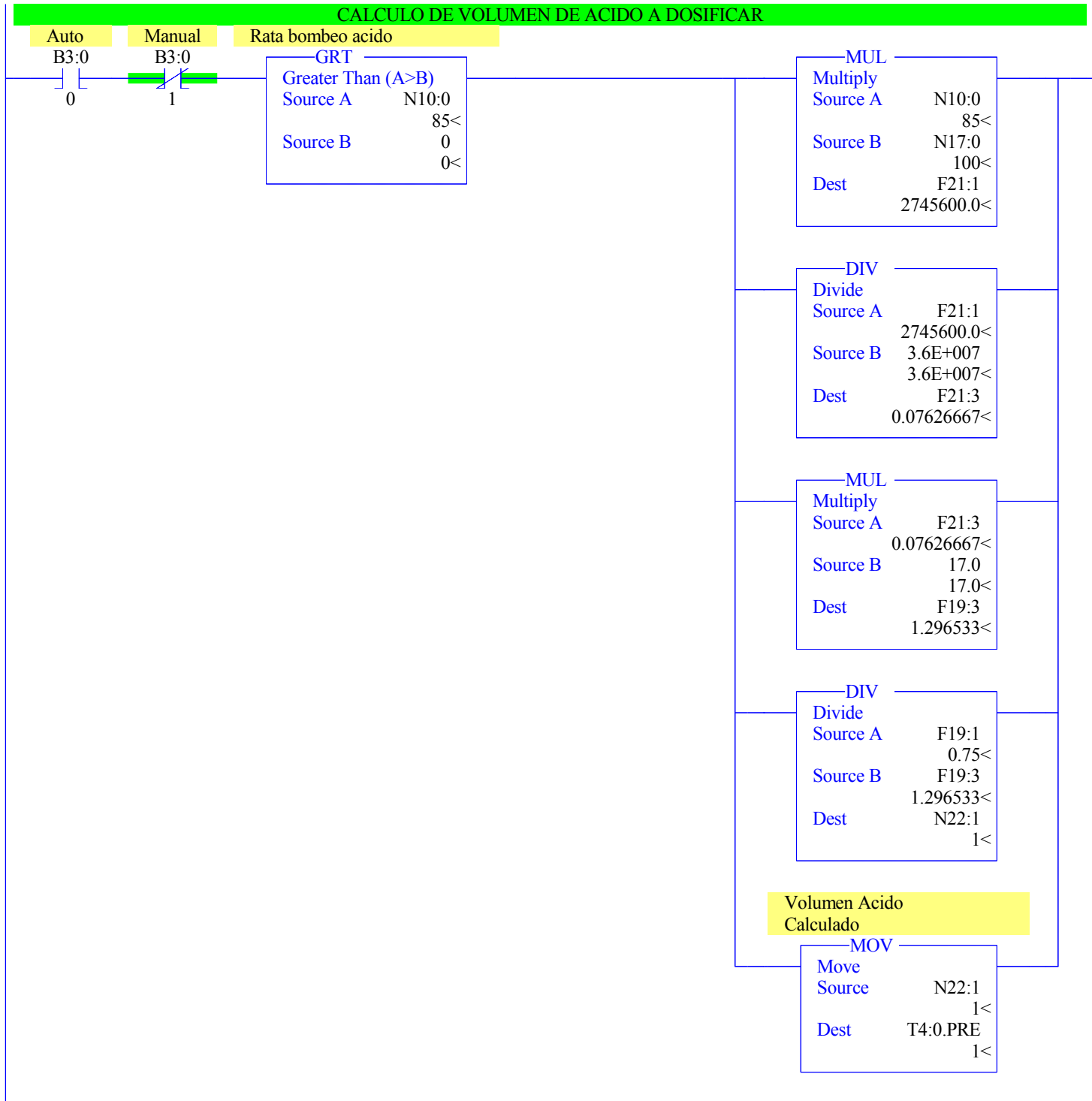


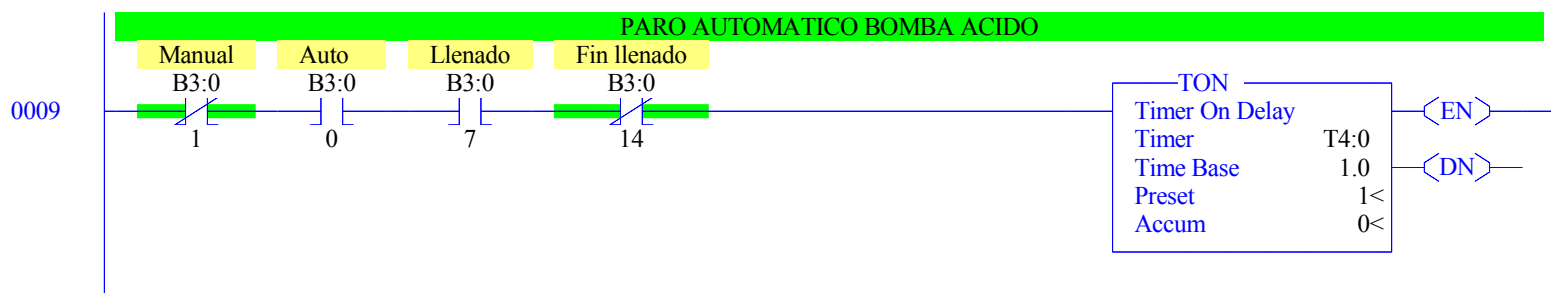


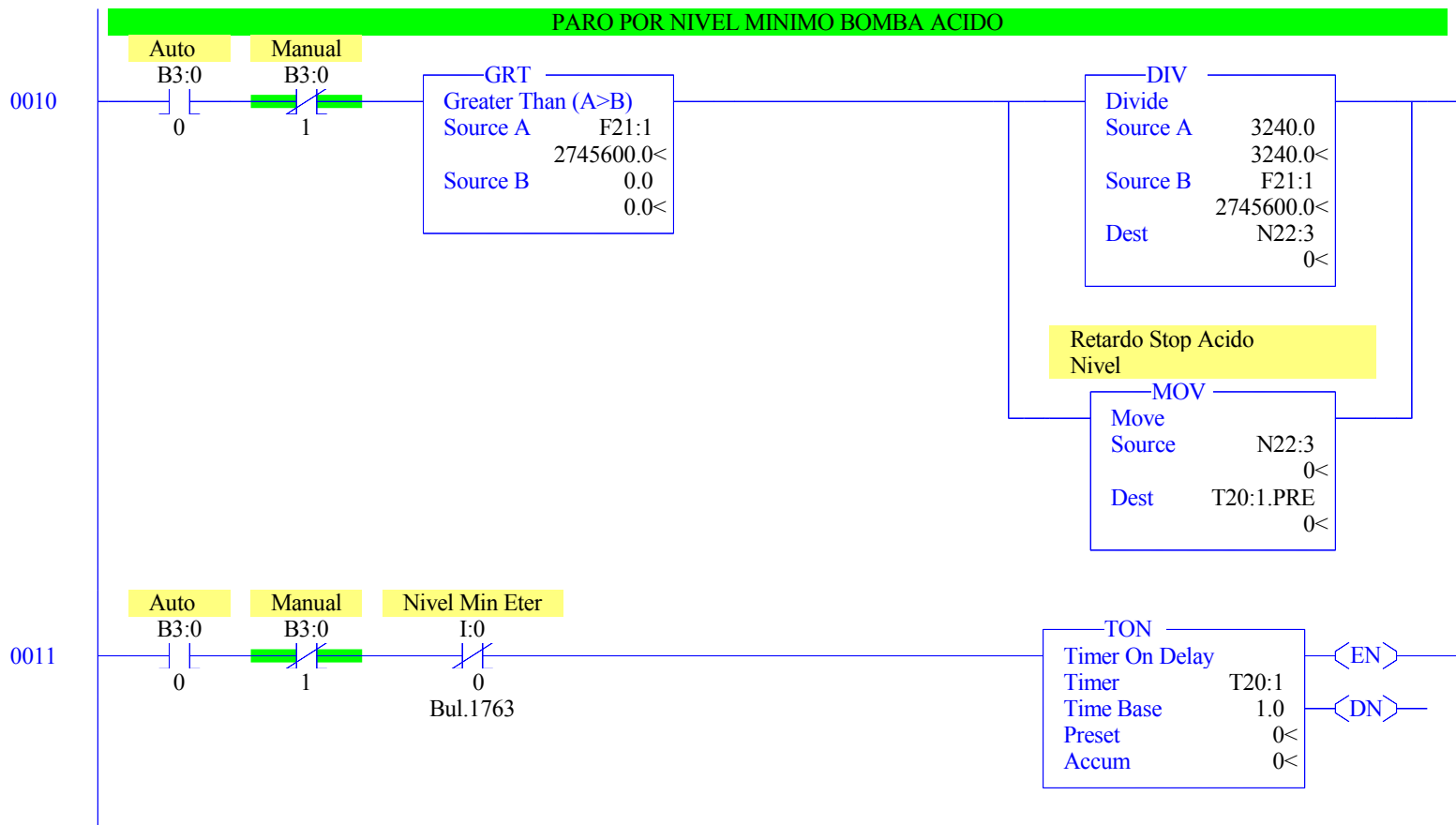


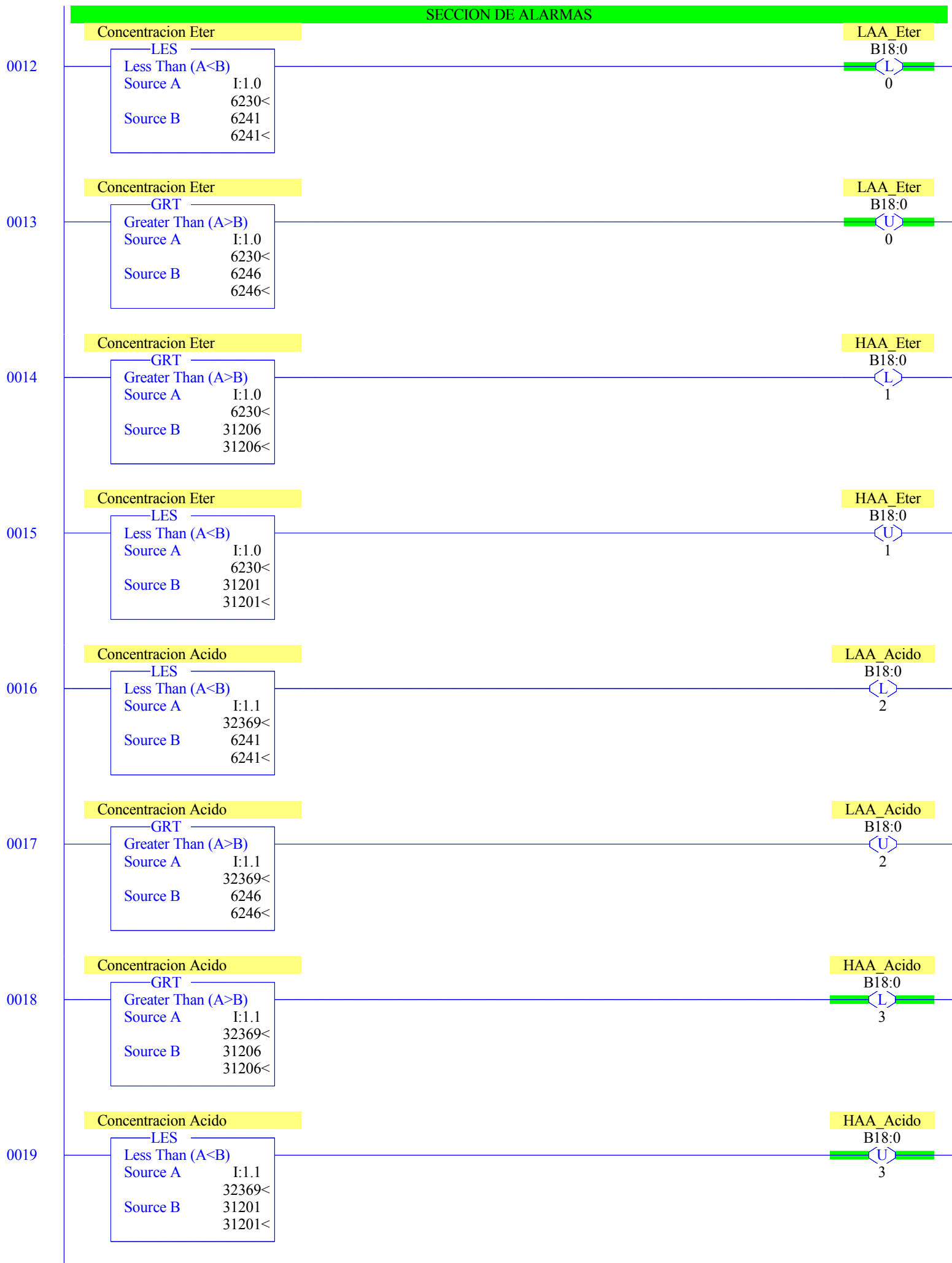


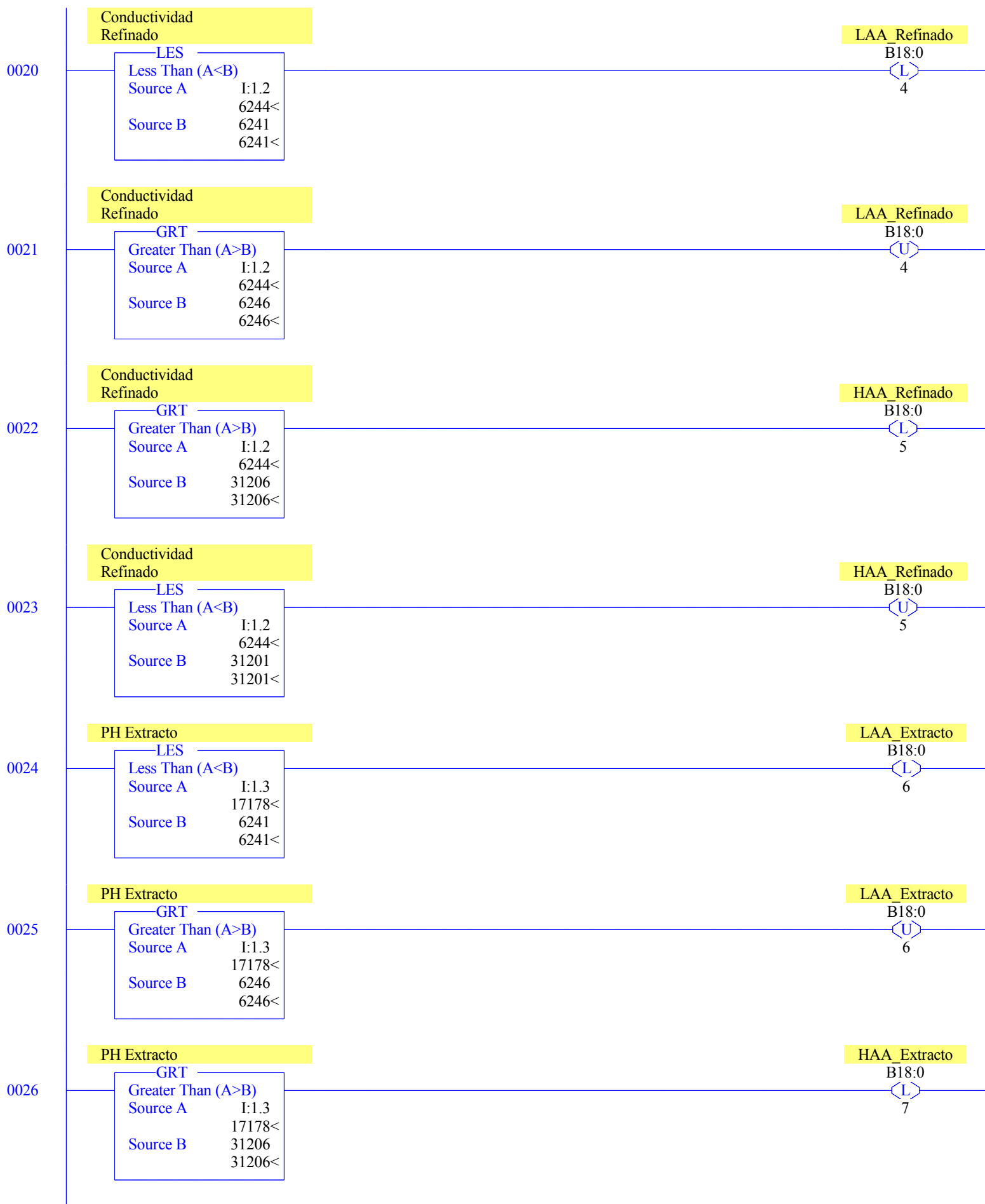
0008

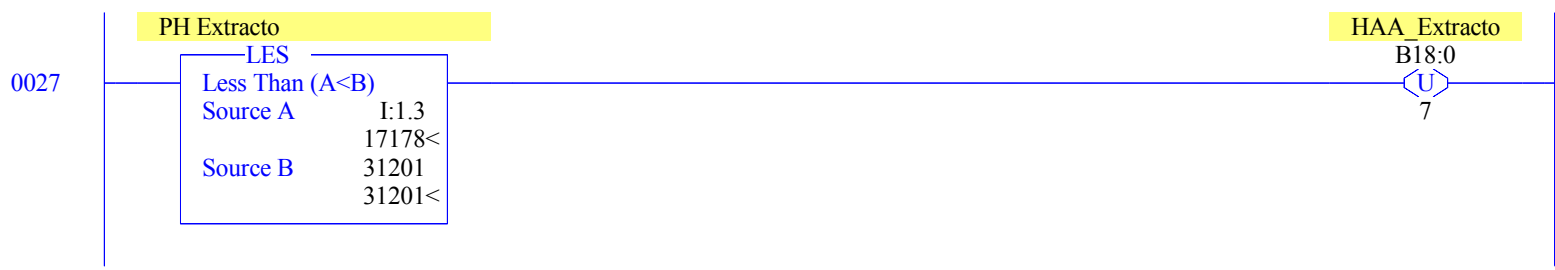


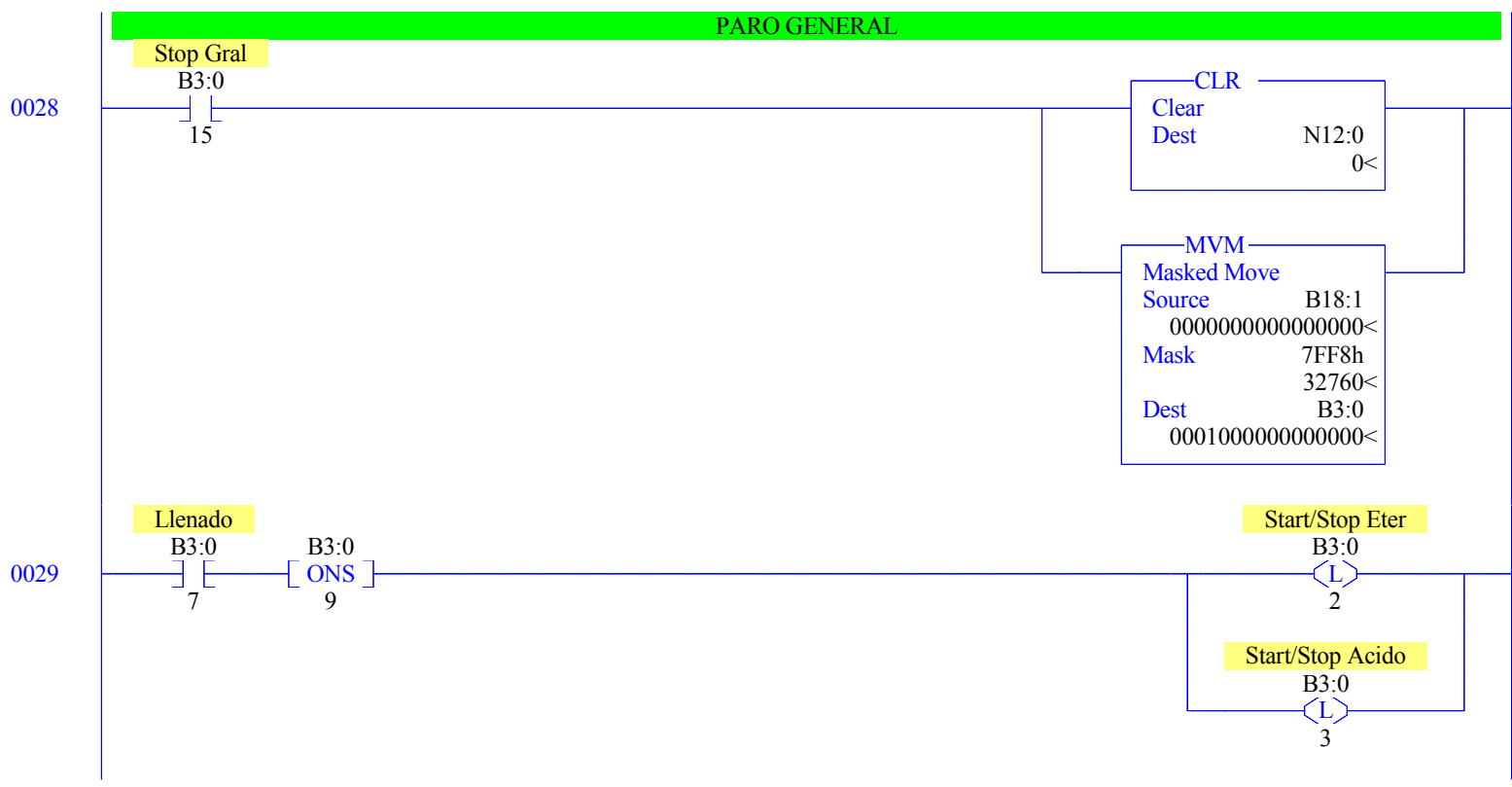




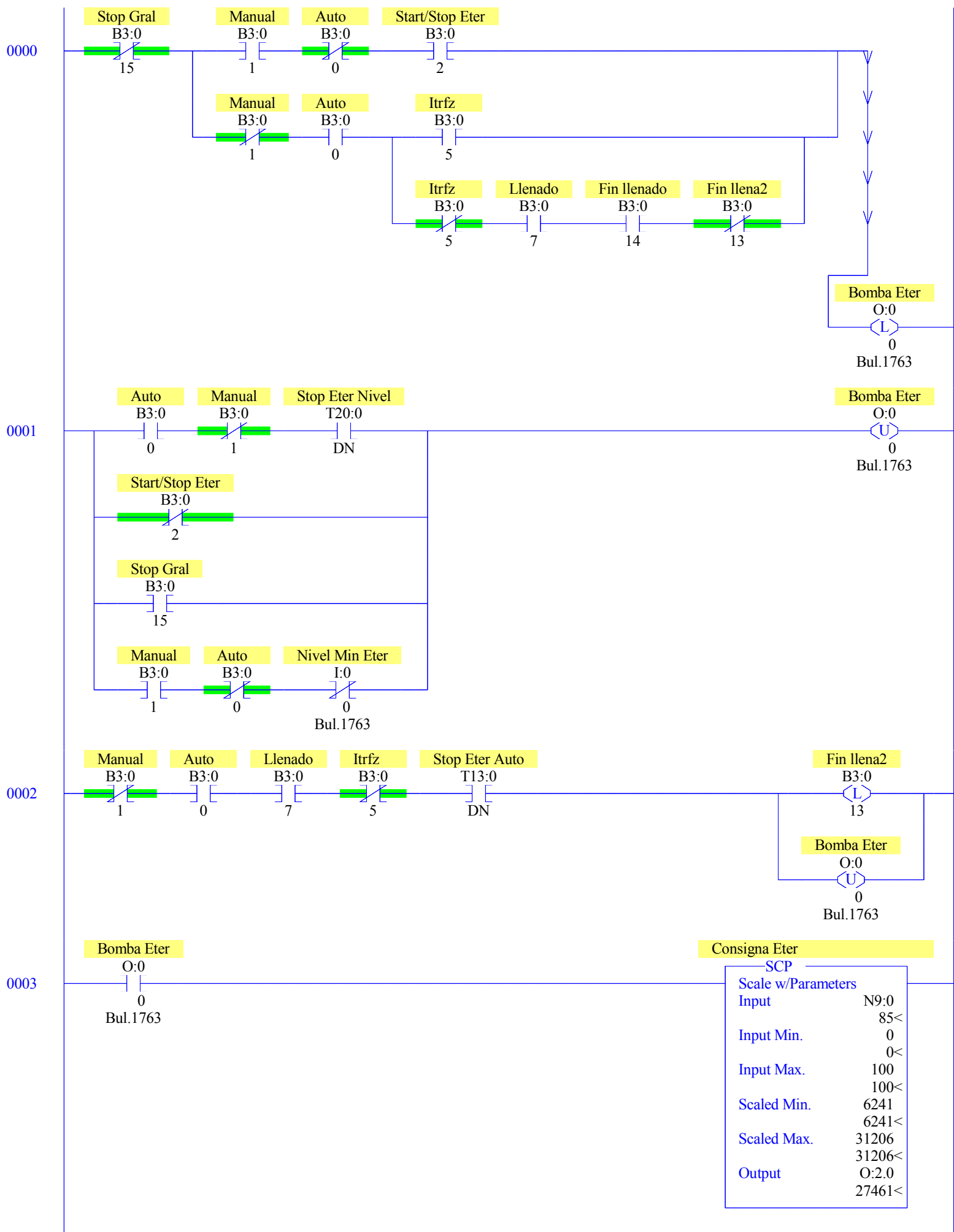




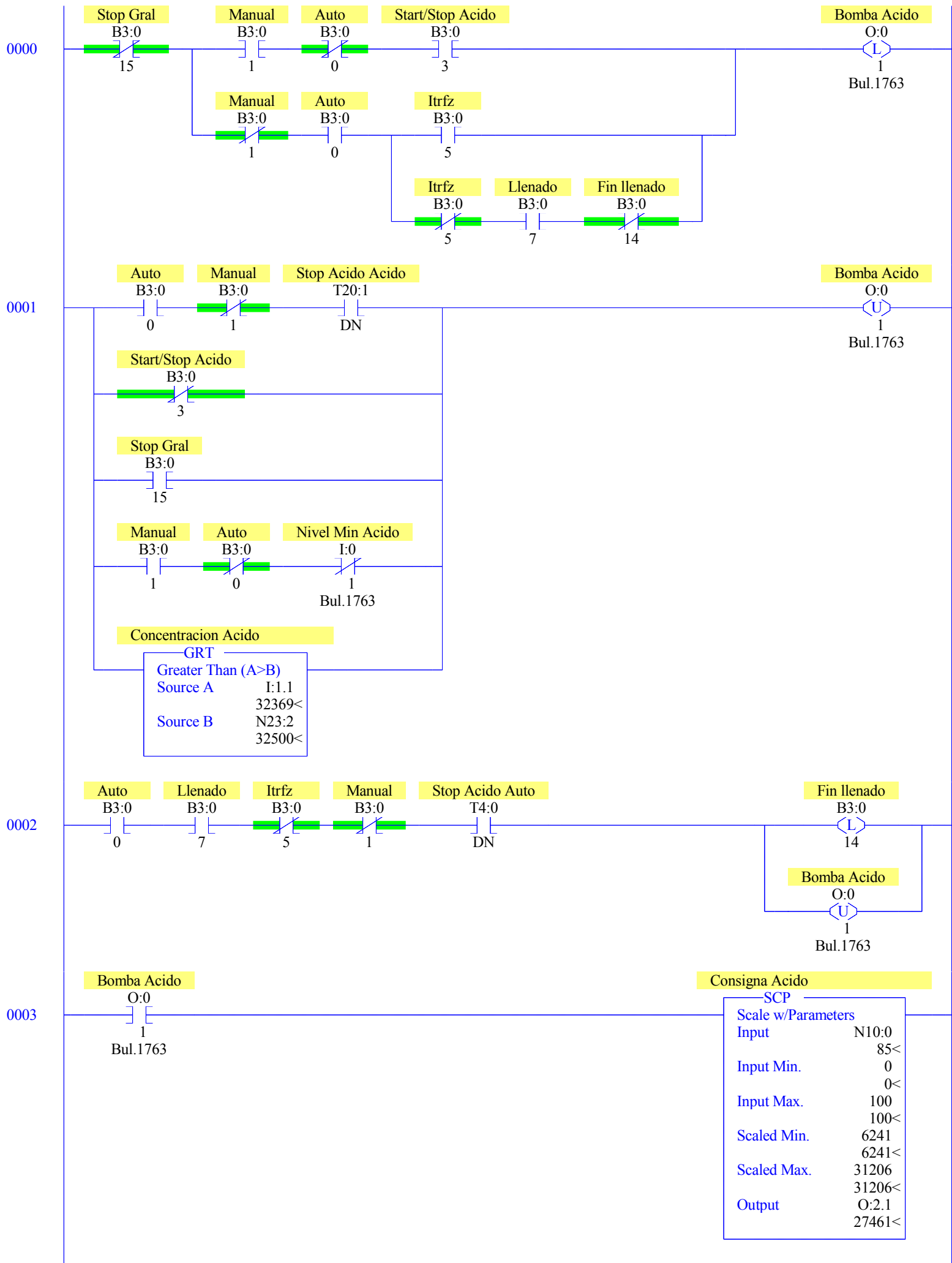






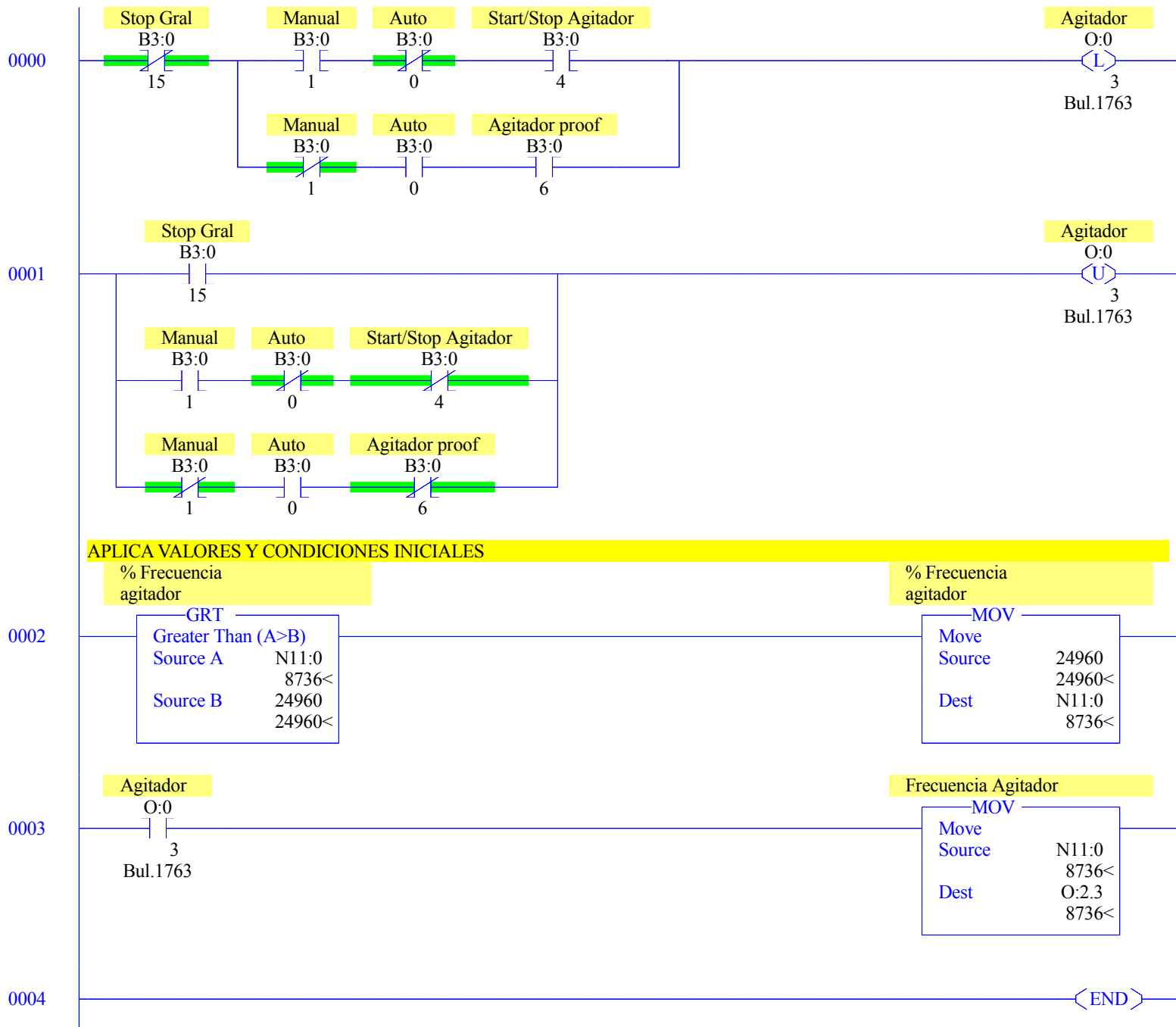


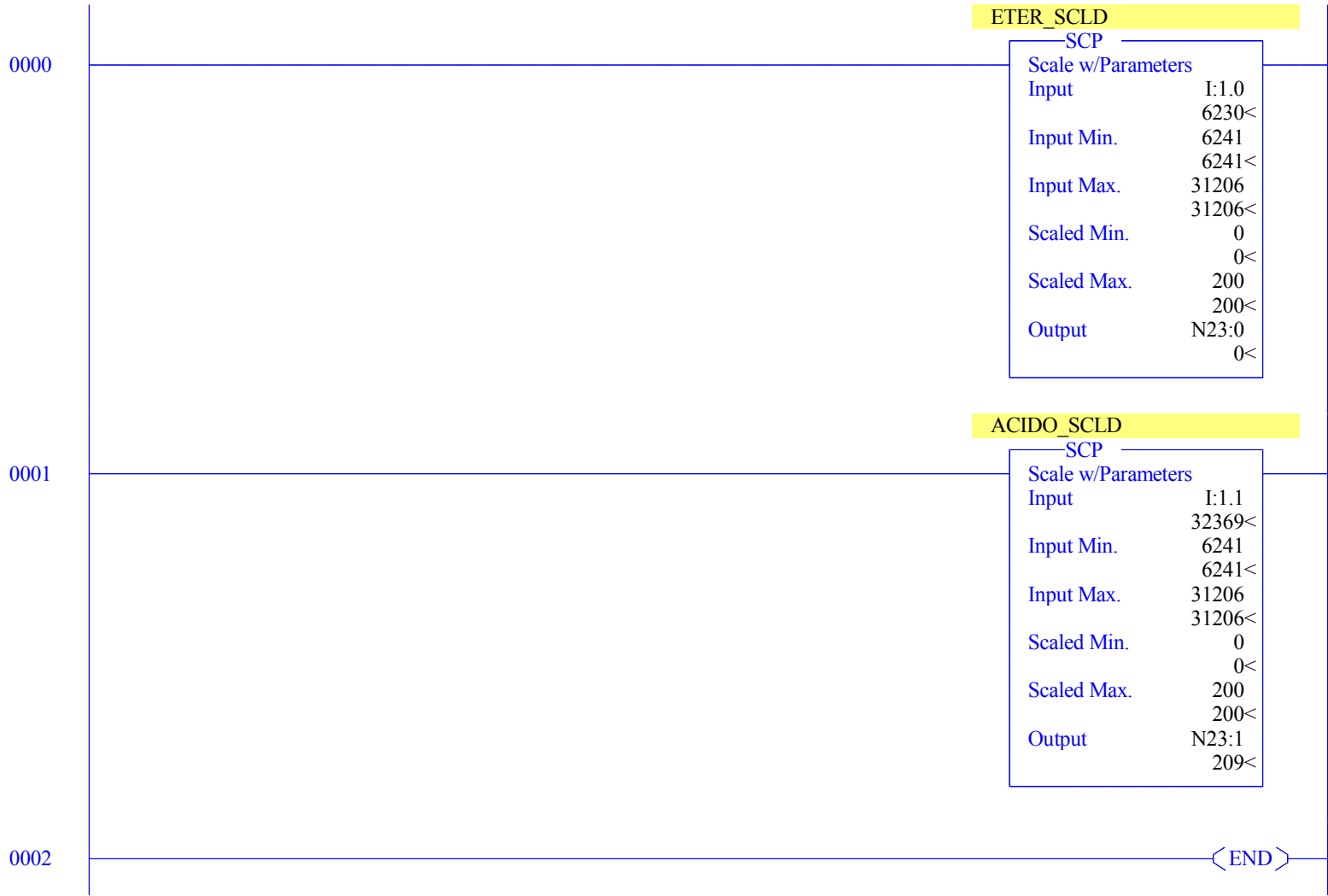




0004

⟨END⟩





ETER_SCLD

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.0
	6230<
Input Min.	6241
	6241<
Input Max.	31206
	31206<
Scaled Min.	0
	0<
Scaled Max.	200
	200<
Output	N23:0
	0<

ACIDO_SCLD

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.1
	32369<
Input Min.	6241
	6241<
Input Max.	31206
	31206<
Scaled Min.	0
	0<
Scaled Max.	200
	200<
Output	N23:1
	209<

⟨END⟩

CALCULO DE VOLUMEN DE ETER A DOSIFICAR

0000

Auto
B3:0
0

Manual
B3:0
1

Rata bombeo eter

GRT
Greater Than (A>B)
Source A N9:0
85<
Source B 6240
6240<

SUB
Subtract
Source A N9:0
85<
Source B 6240.0
6240.0<
Dest F21:0
2745600.0<

DIV
Divide
Source A F21:0
2745600.0<
Source B 1664.0
1664.0<
Dest F21:0
2745600.0<

MUL
Multiply
Source A F21:0
2745600.0<
Source B N16:0
100<
Dest F21:0
2745600.0<

DIV
Divide
Source A F21:0
2745600.0<
Source B 100.0
100.0<
Dest F21:0
2745600.0<

MUL
Multiply
Source A F19:0
0.15<
Source B 3600.0
3600.0<
Dest F21:2
0.07626667<

DIV
Divide
Source A F21:2
0.07626667<
Source B F21:0
2745600.0<
Dest N22:0
0<

Volumen Eter
Calculado

MOV
Move
Source N22:0
0<
Dest T13:0.PRE
0<

CALCULO DE VOLUMEN DE ACIDO A DOSIFICAR

0001

Auto
B3:0

Manual
B3:0

Rata bombeo acido

GRT
Greater Than (A>B)
Source A N10:0
85<
Source B 6240
6240<

SUB
Subtract
Source A N10:0
85<
Source B 6240.0
6240.0<
Dest F21:1
2745600.0<

DIV
Divide
Source A F21:1
2745600.0<
Source B 1664.0
1664.0<
Dest F21:1
2745600.0<

MUL
Multiply
Source A F21:1
2745600.0<
Source B N17:0
100<
Dest F21:1
2745600.0<

DIV
Divide
Source A F21:1
2745600.0<
Source B 100.0
100.0<
Dest F21:1
2745600.0<

MUL
Multiply
Source A F19:1
0.75<
Source B 3600.0
3600.0<
Dest F21:3
0.07626667<

DIV
Divide
Source A F21:3
0.07626667<
Source B F21:1
2745600.0<
Dest N22:1
1<

Volumen Acido
Calculado

MOV
Move
Source N22:1
1<
Dest T4:0.PRE
1<



Offset	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
I:0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Bul.1763	MicroLogix 1100 Series B
I:0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	Bul.1763	
I:0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	Bul.1763	
I:1.0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:1.1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:1.2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:1.3	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:1.5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:1.6	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1762-IF4	- Analog 4 Chan. Input
I:2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1762-OF4	- 4-Channel Analog I/V Output Mod
I:2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1762-OF4	- 4-Channel Analog I/V Output Mod

Main

Processor Mode S:1/0 - S:1/4 = Remote Run
 On Power up Go To Run (Mode Behavior) S:1/12 = 0
 First Pass S:1/15 = No
 Free Running Clock S:4 = 0110-1111-0100-0101

Proc

OS Catalog Number S:57 = 1100 User Program Type S:63 = 8108h
 OS Series S:58 = B Compiler Revision Number S:64 =
 OS FRS S:59 =
 Processor Catalog Number S:60 =
 Processor Series S:61 = A
 Processor FRN S:62 =

Scan Times

Maximum (x10 ms) S:22 = 41
 Watchdog (x10 ms) S:3 (high byte) = 10
 Last 100 uSec Scan Time S:35 = 20
 Scan Toggle Bit S:33/9 = 0

Math

Math Overflow Selected S:2/14 = 0 Math Register (lo word) S:13 = 0
 Overflow Trap S:5/0 = 0 Math Register (high word) S:14-S:13 = 0
 Carry S:0/0 = 0 Math Register (32 Bit) S:14-S:13 = 0
 Overflow S:0/1 = 0
 Zero Bit S:0/2 = 0
 Sign Bit S:0/3 = 0

Chan 0

Processor Mode S:1/0- S:1/4 = Remote Run
 Node Address S:15 (low byte) = 0 Outgoing Msg Cmd Pending S:33/2 = 0
 Baud Rate S:15 (high byte) = ?
 Channel Mode S:33/3 = 0
 Comms Active S:33/4 = 0
 Incoming Cmd Pending S:33/0 = 0
 Msg Reply Pending S:33/1 = 0

Debug

Suspend Code S:7 = 0
 Suspend File S:8 = 0

Errors

Fault Override At Power Up S:1/8 = 0 Fault Routine S:29 = 0
 Startup Protection Fault S:1/9 = 0 Major Error S:6 = 0h
 Major Error Halt S:1/13 = 0
 Overflow Trap S:5/0 = 0 Error Description:
 Control Register Error S:5/2 = 0
 Major Error Executing User
 Fault Rtn. S:5/3 = 0
 Battery Low S:5/11 = 0
 Input Filter Selection Modified S:5/13 = 0
 ASCII String Manipulation error S:5/15 = 0

Protection

Deny Future Access S:1/14 = No
 Data File Overwrite Protection Lost S:36/10 = False

Mem Module

Memory Module Loaded On Boot S:5/8 = 0
 Password Mismatch S:5/9 = 0
 Load Memory Module On Memory Error S:1/10 = 0
 Load Memory Module Always S:1/11 = 0
 On Power up Go To Run (Mode Behavior) S:1/12 = 0
 Program Compare S:2/9 = 0
 Data File Overwrite Protection Lost S:36/10 = 0

Forces

Forces Enabled S:1/5 = Yes
 Forces Installed S:1/6 = No

Offset	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	(Symbol)	Description
B3:0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Offset	EN	TT	DN	BASE	PRE	ACC	(Symbol)	Description
T4:0	0	0	0	1.0 sec	1	0		

Offset	CU	CD	DN	OV	UN	UA	PRE	ACC	(Symbol)	Description
C5:0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Offset	EN	EU	DN	EM	ER	UL	IN	FD	LEN	POS	(Symbol)	Description
R6:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Data File N7 (dec) -- INTEGER

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N7:0	0									

Offset	0	1	2	3	4
F8:0	0				

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N9:0	85									

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N10:0	85									

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N11:0	8736									

Data File N12 (dec)

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N12:0	0									

Offset	EN	TT	DN	BASE	PRE	ACC	(Symbol)	Description
T13:0	0	0	0	1.0 sec	0	0		

Offset	LEN	String	Text	(Symbol)	Description
--------	-----	--------	------	----------	-------------

ST14:0	10	Columna	de		
--------	----	---------	----	--	--

Offset	LEN	String Text	(Symbol)	Description
--------	-----	-------------	----------	-------------

ST15:0	10	Extraccion		
--------	----	------------	--	--

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N16:0	100									

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N17:0	100									

Data File B18 (bin)

Offset	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	(Symbol)	Description
B18:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1		
B18:1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Offset	0	1	2	3	4
F19:0	0.15	0.75	1.296533	1.296533	

Offset	EN	TT	DN	BASE	PRE	ACC	(Symbol) Description
T20:0	0	0	0	1.0 sec	0	0	
T20:1	0	0	0	1.0 sec	0	0	

Offset	0	1	2	3	4
F21:0	2745600	2745600	0.07626667	0.07626667	

Data File N22 (dec)

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N22:0	0	1	0	0						

Data File N23 (dec)

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N23:0	0	209	32500							

Address (Symbol) = Value [Description]

Address/Symbol Database

Address	Symbol	Scope	Description	Sym Group	Dev. Code	ABV	BI
B3:0							
B3:0/0			Auto				
B3:0/1			Manual				
B3:0/2			Start/Stop Eter				
B3:0/3			Start/Stop Acido				
B3:0/4			Start/Stop Agitador				
B3:0/5			Itrfz				
B3:0/6			Agitador proof				
B3:0/7			Llenado				
B3:0/8			Open/Close Valvula				
B3:0/12			Error Conductividad				
B3:0/13			Fin llena2				
B3:0/14			Fin llenado				
B3:0/15			Stop Gral				
B18:0/0			LAA Eter				
B18:0/1			HAA Eter				
B18:0/2			LAA Acido				
B18:0/3			HAA Acido				
B18:0/4			LAA Refinado				
B18:0/5			HAA Refinado				
B18:0/6			LAA Extracto				
B18:0/7			HAA Extracto				
F19:0			% Llenado Eter				
F19:1			% Llenado Acido				
F19:3							
I:0/0			Nivel Min Eter				
I:0/1			Nivel Min Acido				
I:1.0			Concentracion Eter				
I:1.1			Concentracion Acido				
I:1.2			Conductividad Refinado				
I:1.3			PH Extracto				
N9:0			Rata bombeo eter				
N10:0			Rata bombeo acido				
N11:0			% Frecuencia agitador				
N16:0			%Stroke bomba eter				
N17:0			%Stroke bomba acido				
N23:0			ETER_SCLD				
N23:1			ACIDO_SCLD				
N23:2							
O:0/0			Bomba Eter				
O:0/1			Bomba Acido				
O:0/2			Valvula				
O:0/3			Agitador				
O:2.0			Consigna Eter				
O:2.1			Consigna Acido				
O:2.3			Frecuencia Agitador				
S:0			Arithmetic Flags				
S:0/0			Processor Arithmetic Carry Flag				
S:0/1			Processor Arithmetic Underflow/ Overflow Flag				
S:0/2			Processor Arithmetic Zero Flag				
S:0/3			Processor Arithmetic Sign Flag				
S:1			Processor Mode Status/ Control				
S:1/0			Processor Mode Bit 0				
S:1/1			Processor Mode Bit 1				
S:1/2			Processor Mode Bit 2				
S:1/3			Processor Mode Bit 3				
S:1/4			Processor Mode Bit 4				
S:1/5			Forces Enabled				
S:1/6			Forces Present				
S:1/7			Comms Active				
S:1/8			Fault Override at Powerup				
S:1/9			Startup Protection Fault				
S:1/10			Load Memory Module on Memory Error				
S:1/11			Load Memory Module Always				
S:1/12			Load Memory Module and RUN				
S:1/13			Major Error Halted				
S:1/14			Access Denied				
S:1/15			First Pass				
S:2/0			STI Pending				
S:2/1			STI Enabled				
S:2/2			STI Executing				
S:2/3			Index Addressing File Range				
S:2/4			Saved with Debug Single Step				
S:2/5			DH-485 Incoming Command Pending				
S:2/6			DH-485 Message Reply Pending				
S:2/7			DH-485 Outgoing Message Command Pending				
S:2/15			Comms Servicing Selection				
S:3			Current Scan Time/ Watchdog Scan Time				
S:4			Time Base				
S:5/0			Overflow Trap				
S:5/2			Control Register Error				
S:5/3			Major Err Detected Executing UserFault Routine				
S:5/4			M0-M1 Referenced on Disabled Slot				
S:5/8			Memory Module Boot				
S:5/9			Memory Module Password Mismatch				
S:5/10			STI Overflow				
S:5/11			Battery Low				
S:6			Major Error Fault Code				
S:7			Suspend Code				
S:8			Suspend File				

Address/Symbol Database

Address	Symbol	Scope	Description	Sym Group	Dev. Code	ABV	BI
S:9			Active Nodes				
S:10			Active Nodes				
S:11			I/O Slot Enables				
S:12			I/O Slot Enables				
S:13			Math Register				
S:14			Math Register				
S:15			Node Address/ Baud Rate				
S:16			Debug Single Step Rung				
S:17			Debug Single Step File				
S:18			Debug Single Step Breakpoint Rung				
S:19			Debug Single Step Breakpoint File				
S:20			Debug Fault/ Powerdown Rung				
S:21			Debug Fault/ Powerdown File				
S:22			Maximum Observed Scan Time				
S:23			Average Scan Time				
S:24			Index Register				
S:25			I/O Interrupt Pending				
S:26			I/O Interrupt Pending				
S:27			I/O Interrupt Enabled				
S:28			I/O Interrupt Enabled				
S:29			User Fault Routine File Number				
S:30			STI Setpoint				
S:31			STI File Number				
S:32			I/O Interrupt Executing				
S:33			Extended Proc Status Control Word				
S:33/0			Incoming Command Pending				
S:33/1			Message Reply Pending				
S:33/2			Outgoing Message Command Pending				
S:33/3			Selection Status User/DF1				
S:33/4			Communicat Active				
S:33/5			Communicat Servicing Selection				
S:33/6			Message Servicing Selection Channel 0				
S:33/7			Message Servicing Selection Channel 1				
S:33/8			Interrupt Latency Control Flag				
S:33/9			Scan Toggle Flag				
S:33/10			Discrete Input Interrupt Reconfigur Flag				
S:33/11			Online Edit Status				
S:33/12			Online Edit Status				
S:33/13			Scan Time Timebase Selection				
S:33/14			DTR Control Bit				
S:33/15			DTR Force Bit				
S:34			Pass-thru Disabled				
S:34/0			Pass-Thru Disabled Flag				
S:34/1			DH+ Active Node Table Enable Flag				
S:34/2			Floating Point Math Flag Disable,Fl				
S:35			Last 1 ms Scan Time				
S:36			Extended Minor Error Bits				
S:36/8			DII Lost				
S:36/9			STI Lost				
S:36/10			Memory Module Data File Overwrite Protection				
S:37			Clock Calendar Year				
S:38			Clock Calendar Month				
S:39			Clock Calendar Day				
S:40			Clock Calendar Hours				
S:41			Clock Calendar Minutes				
S:42			Clock Calendar Seconds				
S:43			STI Interrupt Time				
S:44			I/O Event Interrupt Time				
S:45			DII Interrupt Time				
S:46			Discrete Input Interrupt- File Number				
S:47			Discrete Input Interrupt- Slot Number				
S:48			Discrete Input Interrupt- Bit Mask				
S:49			Discrete Input Interrupt- Compare Value				
S:50			Processor Catalog Number				
S:51			Discrete Input Interrupt- Return Number				
S:52			Discrete Input Interrupt- Accumulat				
S:53			Reserved/ Clock Calendar Day of the Week				
S:55			Last DII Scan Time				
S:56			Maximum Observed DII Scan Time				
S:57			Operating System Catalog Number				
S:58			Operating System Series				
S:59			Operating System FRN				
S:61			Processor Series				
S:62			Processor Revision				
S:63			User Program Type				
S:64			User Program Functional Index				
S:65			User RAM Size				
S:66			Flash EEPROM Size				
S:67			Channel 0 Active Nodes				
S:68			Channel 0 Active Nodes				
S:69			Channel 0 Active Nodes				
S:70			Channel 0 Active Nodes				
S:71			Channel 0 Active Nodes				
S:72			Channel 0 Active Nodes				
S:73			Channel 0 Active Nodes				
S:74			Channel 0 Active Nodes				
S:75			Channel 0 Active Nodes				
S:76			Channel 0 Active Nodes				
S:77			Channel 0 Active Nodes				
S:78			Channel 0 Active Nodes				

Address/Symbol Database

Address	Symbol	Scope	Description	Sym Group	Dev. Code	ABV	BI
S:79			Channel 0 Active Nodes				
S:80			Channel 0 Active Nodes				
S:81			Channel 0 Active Nodes				
S:82			Channel 0 Active Nodes				
S:83			DH+ Active Nodes				
S:84			DH+ Active Nodes				
S:85			DH+ Active Nodes				
S:86			DH+ Active Nodes				
T4:0.PRE			Volumen Acido Calculado				
T4:0/DN			Stop Acido Auto				
T13:0.PRE			Volumen Eter Calculado				
T13:0/DN			Stop Eter Auto				
T20:0.PRE			Retardo Stop Eter Nivel				
T20:0/DN			Stop Eter Nivel				
T20:0/EN							
T20:1.PRE			Retardo Stop Acido Nivel				
T20:1/DN			Stop Acido Acido				
U:3							
U:4							
U:5							
U:6							
U:7							

Address	Instruction	Description
---------	-------------	-------------

Group_Name Description