



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE  
TEMPERATURA Y CONTROL DE VÁLVULAS PARA  
DIFERENTES ARREGLOS PRE-CONCEPTUALIZADOS DE UN  
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS

### **INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

BAYRON DANIEL CAJAS ZAMBRANO

ISRAEL FERNANDO ARELLANO ULLOA

GUAYAQUIL – ECUADOR

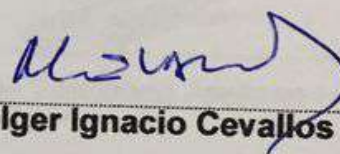
AÑO: 2017

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



**MSc Ricardo Alfredo Cajo Díaz**

PROFESOR EVALUADOR

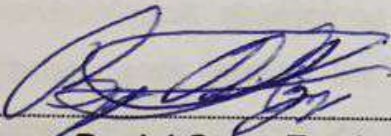


**MSc Holger Ignacio Cevallos Ulloa**

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Bayron Daniel Cajas Zambrano



Israel Fernando Arellano Ulloa

## RESUMEN

El Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) en la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral cuenta con una serie de plantas utilizadas para el desarrollo de los futuros ingenieros químicos, por lo cual es necesario procurar las mejores condiciones para el estudio del alumno, una de dichas plantas es el Intercambiador de calor de tubos concéntricos, la cual consiste en observar los cambios de temperatura que se produce con la transferencia de calor entre agua calentada por proceso de planta y el agua de refrigeración dependiendo del flujo en paralelo o a contra corriente.

El problema a resolver consiste en que las lecturas de temperaturas con los sensores de instalados, son lecturas erróneas, datos que no se acercan al valor mostrado con los termómetros analógicos instalados, además, los estudiantes tienen algunos problemas para realizar las practicas al tener que manipular varias válvulas para ejecutar los arreglos con los cuales se controla el flujo del agua.

La solución propuesta se basa en el reemplazo de termocuplas que se encuentran deterioradas por el tiempo, las cuales al poseer un tamaño incorrecto de bulbo la adquisición de datos de temperatura es incorrecto, también es necesario el reemplazo de válvulas manuales por electroválvulas para poder realizar las prácticas con mayor agilidad y ahorro de tiempo.

La resolución del problema se detalla a continuación en 4 etapas:

Etapa 1: Comprobar el funcionamiento correcto de los equipos de automatización, realizando pruebas necesarias para cumplir con el desarrollo de los objetivos.

Etapa 2: Adquisición de datos de temperatura con las termocuplas adecuadas y un correcto escalamiento de la señal con la ayuda de un controlador lógico programable LOGO y sus módulos de expansión analógicos para realizar dicha labor.

Etapa 3: Reemplazo de válvulas manuales por electroválvulas, las cuales serán accionadas con la ayuda de un LOGO y módulo de salidas digitales para el accionamiento y cierre de las electroválvulas.

Etapa 4: Montaje de un panel de control para accionar los diferentes arreglos pre-conceptualizados del intercambiador de calor de tubos concéntricos.

## ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA .....	iii
RESUMEN .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
CAPÍTULO 1 .....	1
1 DELIMITACION DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Justificación .....	2
1.4 Alcance del proyecto .....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2 ESTADO DEL ARTE .....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Marco Teórico.....	6
2.2.1 Termopares .....	6
2.2.2 LOGO! 8 12/24 RCE -6ED1052-1MD00-0BA8 .....	8
2.2.3 Electroválvulas .....	13
CAPÍTULO 3.....	17
3 METODOLOGÍA DEL TRABAJO .....	17
3.1 Como cargar un programa a logo v8 .....	17
3.2 Pruebas con luces piloto.....	24
3.3 Programación de arreglos pre conceptualizados del intercambiador de calor26	
3.3.1 Explicación .....	26

3.3.2	Programación de electroválvulas parte I .....	27
3.3.3	Programación de electroválvulas parte II .....	29
3.3.4	Adquisición señal analógica .....	31
CAPÍTULO 4	.....	37
4	RESULTADOS .....	37
4.1	COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADOR LOGO! Y PC.....	37
4.2	CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS.....	37
4.3	ADQUISICIÓN DE SEÑAL ANALÓGICA .....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	42
BIBLIOGRAFÍA	.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Cruz térmica. [3].....	6
Figura 2.2: LOGO!8. [4] .....	9
Figura 2.3: Módulo de expansión para señales digitales. [4] .....	10
Figura 2.4: Módulo de expansión entradas analógicas. [4].....	11
Figura 2.5: fuente de alimentación. [4].....	12
Figura 2.6: Normalmente cerrada. [5] .....	14
Figura 2.7: Normalmente abierta. [5] .....	14
Figura 2.8: Electroválvula de acción indirecta. [5].....	15
Figura 2.9: Electroválvula de acción mixta. [5].....	15
Figura 2.10: Electroválvula motorizada. [6].....	16
Figura 3.1: Luz indicadora de conexión de red. ....	17
Figura 3.2: Abrir centro de redes y recursos compartidos. ....	18
Figura 3.3: conexiones Ethernet. ....	18
Figura 3.4: Estado Ethernet. ....	19
Figura 3.5: propiedades de Ethernet.....	19
Figura 3.6: Propiedades de habilitar el protocolo de internet versión 4(TCP/IPv4)” .....	20
Figura 3.7: Pruebas de ping 1.....	20
Figura 3.8: Pruebas de ping 2.....	21
Figura 3.9: Prueba de ping 3.....	21
Figura 3.10: transferir PC – LOGO. ....	22
Figura 3.11: Detectando logo 1.....	22
Figura 3.12: Detectando logo 2.....	23
Figura 3.13: Carga de programa PC-LOGO. ....	23
Figura 3.14: Conexión de logo v8 con fuente de alimentación y luz piloto....	24
Figura 3.15: Programación de prueba, arreglo 1. ....	25
Figura 3.16: LOGO ejecutando el programa de prueba.....	25
Figura 3.17: Planta de prácticas del Intercambiador de tubos concéntricos. 26	
Figura 3.18: Programa de ensayo de apertura y cierre de electroválvulas, programación parte I.....	28
Figura 3.19: Circuito traslado de arreglos. ....	29
Figura 3.20: Programa de ensayo de apertura y cierre de electroválvulas, programación parte II.....	30
Figura 3.21: Bloques especiales para funcionamiento correcto del programa. ....	31

Figura 3.22: Pruebas con termocuplas. ....	32
Figura 3.23: Gráfica de ecuación 1. ....	33
Figura 3.24: Gráfica de ecuación 2. ....	34
Figura 3.25: Gráfica de ecuación 3. ....	35
Figura 4.1: Comunicación exitosa entre PC y LOGO.....	37
Figura 4.2: Señal de apertura de válvulas. ....	38
Figura 4.3: Señal de apertura y señal de cierre de válvulas (2 segundos después de activarse la señal de apertura de válvulas) según el arreglo seleccionado. ....	38
Figura 4.4: Señal de cierre de válvulas (las señales de apertura se desactivan luego de 10 segundos, quedando solo las señales de cierre de válvulas). ..	39
Figura 4.5: Resultado de la programación de señal analógica. ....	40
Figura 4.6: Válvulas manuales.....	42
Figura 4.7: Electroválvulas.....	42
Figura 4.8: Muestreo de temperatura ambiente. ....	43
Figura 4.9: Panel de accionamiento.....	44



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Arreglos pre-conceptualizados.....	27
Tabla 2: Datos experimentales obtenidos en la salida del acondicionador de 0-800°C.....	32
Tabla 3: Puntos de interés para escalamiento de la señal analógica del acondicionador de 0-800°C. ....	33
Tabla 4: Datos experimentales obtenidos en la salida del acondicionador de 0-1000°C.....	33
Tabla 5: Puntos de interés para escalamiento de la señal analógica del acondicionador de 0-1000°C. ....	34
Tabla 6: Datos experimentales obtenidos en la salida del acondicionador de 0-1300°C.....	35
Tabla 7: Puntos de interés para escalamiento de la señal analógica del acondicionador de 0-1300°C. ....	36
Tabla 8: Resultado de conexiones.....	41

## CAPÍTULO 1

### 1 DELIMITACION DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, el laboratorio de operaciones unitarias (LOPU) esta dotado de una serie de equipos a escala utilizados para el aprendizaje de los estudiantes, sin embargo , algunos equipos se han deteriorado debido al tiempo y no cuentan con la instrumentación necesaria para poder funcionar adecuadamente y al ser plantas piloto afecta de manera directa el aprendizaje del futuro ingeniero químico, entre algunos de los equipos afectados se encuentra el intercambiador de calor de tubos concéntricos el mismo que tiene la necesidad de ejercer control y monitoreo de temperatura y accionamiento de válvulas para diferentes arreglos pre-conceptualizados que se usarían en las distintas practicas ejecutadas con el intercambiador de calor de tubos concéntricos en el LOPU, una de las principales inconformidades es la adquisición de datos de temperatura en tiempo real en distintos puntos específicos del intercambiador de calor de tubos concéntricos, tarea que es realizada por medio de sensores de temperatura denominadas termocuplas, las cuales son muy básicas, las mismas no tienen un bulbo sensor (electrodo de medición de temperatura) del tamaño correcto por lo cual al realizar la adquisición de los datos de temperatura se obtienen resultados erróneos, poco confiables e imprecisos, dichas termocuplas se encuentran conectadas a un microcontrolador Arduino Mega, esto también simboliza un problema ya que con un microcontrolador no se logra alcanzar la confiabilidad y la robustez deseada para la automatización del proceso. Otro de los problemas a tratar son el accionamiento de válvulas en el intercambiador de calor de tubos concéntricos, los mismos que se realizan por medio de válvulas manuales las cuales no tienen una correcta visualización de su numeración y es tedioso tener que abrirlas o cerrarlas una por una dado que se pierde esfuerzo y tiempo en dicha labor, también se encuentra el inconveniente de la carencia

de un panel controle el sistema y los arreglos que se desee ejecutar, el mismo que por medio de botoneras optimizará el tiempo para realizar las prácticas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

- Automatizar el banco de pruebas de temperatura del intercambiador de calor de tubos concéntricos del Laboratorio de Operaciones Unitarias

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Reemplazar válvulas manuales por electroválvulas.
- Medir valores de temperatura en tiempo real de puntos específicos del sistema.
- Automatizar el proceso de cierre de válvulas con la ayuda de un LOGO.
- Montar un panel de accionamiento de secuencias para el funcionamiento de electroválvulas.

## **1.3 Justificación**

La importancia y principal razón del monitoreo de temperatura y control de válvulas con un controlador programable para diferentes arreglos pre-conceptualizados del intercambiador de calor de tubos concéntricos, radica en su aplicación al momento de realizar las diferentes prácticas en el laboratorio de operaciones unitarias, destacando la agilidad y fluidez de un sistema automatizado, habremos mejorado el tiempo de culminación de dichas prácticas y habremos ahorrado el esfuerzo tedioso de abrir y cerrar válvulas correctas de manera manual, ya que al momento de ejecutar alguno de los arreglos pre-conceptualizados, bastará con presionar un botón del panel que vamos a implementar y la automatización se encargará de accionar las válvulas en orden correcto, para cada arreglo previamente pre-conceptualizado por lo que los estudiantes que realicen prácticas con este equipo sólo se tendrán que enfocar en tomar los datos relevantes del proceso

que estudian al ejecutar la práctica, además de la mejora de la adquisición de datos de temperatura, reemplazando las termocuplas instaladas por otras más adecuadas, para la correcta toma de estos datos, las cuales cuentan con el tamaño correcto del electrodo de medición, logrando una mejora en la adquisición de datos de termodinámicos, también, se destacará una mejora en la etapa de control que se verá realizada por medio de un LOGO 8 de la marca Siemens, junto con los módulos de expansión de entradas y salidas para el control de las válvulas y la toma de datos de las termocuplas, resolviendo así el problema de carencia de confiabilidad en los resultados obtenidos al ejecutar las practicas con el intercambiador de tubos concéntricos.

La ejecución del proyecto estará desarrollada por etapas secuenciales para poder obtener los mejores resultados.

La etapa inicial es el análisis completo de los equipos instalados actualmente, para tener una idea clara del comportamiento y características que se requiere para las mejoras que se realizaran en el proyecto. Con este primer paso se obtuvo información de las dimensiones de las válvulas y se opta por el uso de electroválvulas motorizadas modelo CWX-25S. Además, se determinó el tamaño de bulbo correcto para los sensores de temperatura, se opta por el uso de termocuplas tipo J de la marca EBCHQ código 56120 con bulbo de 10 centímetros.

Etapa intermedia (Implementación) se procederá al reemplazo de las válvulas mencionadas por electroválvulas funcionales accionadas desde el panel de control, también se procederá al retiro de los sensores de temperatura por nuevos electrodos para un mejor funcionamiento y logrando su robustez por medio del LOGO 8 de la marca Siemens.

Etapa final, en la cual realizarán todas las pruebas necesarias para verificar el correcto funcionamiento de los equipos, dando más importancia a su sincronía y confiabilidad al momento de realizar las prácticas para los futuros ingenieros químicos.

#### 1.4 Alcance del proyecto

El sistema quedará automatizado con el reemplazo de 7 válvulas manuales por electroválvulas o válvulas solenoides para poder ejecutar los diferentes arreglos pre-conceptualizados del intercambiador de calor de tubos concéntricos, también se cambiarán las termocuplas obsoletas instaladas en el sistema por sensores nuevos los cuales tengan un tamaño correcto del bulbo o electrodo de medición, para obtener lecturas de temperatura correctas y en tiempo real, en las áreas requeridas y se podrá realizar la adquisición de estos datos respectivamente para que puedan ser transmitidos a una interfaz para ser visualizados.

Se montará un panel para poder ejercer control de las electroválvulas y la adquisición de las señales provenientes de las termocuplas instaladas en el intercambiador de calor de tubos concéntricos. Dicho panel, en la parte frontal contará con botoneras de accionamiento e interiormente contaremos con un dispositivo controlador LOGO 8, módulos de expansión de entradas y salidas digitales como el 6ED1055-1MB00-OBA2, para poder realizar la apertura y cierre de las electroválvulas, dos módulos de entradas analógicas como el 6ED1055-1MA00-OBA, para poder realizar la adquisición de datos analógicos y la fuente de poder LOGO POWER, utilizada para la alimentación de los equipos, los cuales se conectarán y se programarán de una manera correcta para permitir apertura y cierre de las válvulas dependiendo del arreglo pre-conceptualizado que operador desee ejecutar según el botón de arreglo presionado en el tablero de control.

Con esto se habrá logrado una mejora desde el punto de vista de robustez, comodidad y confiabilidad para la realización de las prácticas de los estudiantes del LOPU.

## CAPÍTULO 2

### 2 ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Antecedentes

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Superior Politécnica del Litoral se han implementado un conjunto de equipos y plantas de trabajo, para que los estudiantes de ingeniería química puedan realizar una serie de prácticas con las cuales pueden simular actividades que se desarrollan a nivel industrial, por lo que realizar estas prácticas son fundamentales para que se adquirieran destrezas profesionales. Por la importancia que estas prácticas tienen en la formación profesional de los futuros ingenieros químicos, se realizó una readecuación de las plantas de trabajo reemplazando los equipos que se encontraban deteriorados por el paso del tiempo y que además carecían de tecnología [1].

Una de las plantas que presentaba estas limitantes era la que servía para el estudio de la transferencia de calor, la cual constaba de dos intercambiadores de tubos con carcasa, además esta era la única planta de este tipo en el laboratorio, por lo que los estudiantes no tenían suficientes medios físicos para el estudio de cursos de Transferencia de Calor y Operaciones Unitarias I [1].

A pesar de estar consciente de la importancia del conocimiento que se puede adquirir en este laboratorio, la readecuación realizada no tuvo el alcance necesario y por esta razón no se llegó a obtener los resultados esperados, por lo que se propone mejorar aún más esta planta de trabajo realizando cambios de sensores electrónicos de temperatura, controladores programables e implementando actuadores eléctricos para que el desarrollo de las prácticas con el intercambiador de calor se realicen de una mejor manera y se puedan obtener los resultados esperados con la operación de esta planta, realizando una simulación con instrumentos reales parecidos a los que son utilizados en la industria [1].

## 2.2 Marco Teórico

### 2.2.1 Termopares

Agradecemos el descubrimiento de los termopares al científico Seebeck en 1821, acerca de la circulación de corriente en un circuito cerrado formado por metales de distinto material cuyo punto de enlace o unión se mantienen a distinta temperatura [2].

#### Efectos termoeléctricos

Dicho fenómeno de circulación de corriente sigue una combinación de los efectos termoeléctricos, como el efecto Peltier descubierto en el año 1834 que provoca una liberación o absorción de calor en el punto de unión de los metales cuando una corriente circula por ese punto, así como también el efecto Thomson (año 1854) cuyo comportamiento es el de absorber o liberar calor cuando la corriente circula por un metal homogéneo en donde existen gradientes de temperatura [3].

El Efecto Peltier, en lo que se denomina cruz térmica, la cual es formada por una unión de dos metales de distintos materiales en su centro, esto hace circular electrones en cualquier sentido izquierda o derecha con el interruptor k1 abierto, luego de cada paso de flujo de electrones se abre el interruptor k2 (desconectando la pila) y se procede a cerrar k1 y podremos observar la lectura en el galvanómetro de la fem que es proporcional a la temperatura alcanzada de la cruz térmica [3].

El circuito descrito es presentado en la figura 2.1:

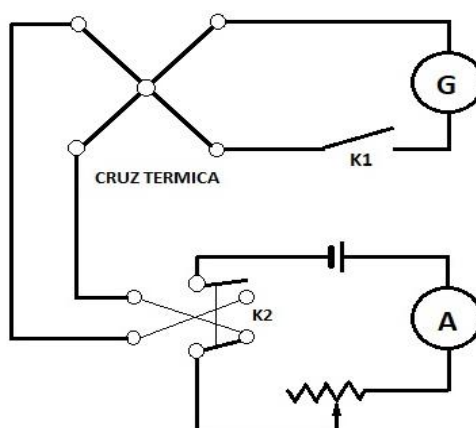


Figura 2.1: Cruz térmica. [3]

### **Tipos de termocuplas**

#### **Termocupla tipo B**

Las características del termopar tipo B formado por platino en un 30% de rodio (+)/ platino 6% de rodio (-), su rango de temperatura va desde los 0 °C a 1820 °C, fuerza electromotriz [mV] desde 0 a 13,814, admiten condiciones de trabajo continuo en ambientes inertes y oxidantes [2].

#### **Termocupla tipo R o S**

El termopar tipo R o S construido a partir de platino-platino rodio, se emplea más comúnmente en atmósferas oxidantes hasta de 1500 °C y si la atmósfera es reductora el termopar debe ser protegido con un tubo cerámico estanco, la termocupla tipo R genera una fuerza electromotriz desde -0.226 a 21.108[mV], mientras que la termocupla tipo S genera una fuerza electromotriz desde -0.236 a 18.698 [mV] [2].

#### **Termocupla tipo J**

Está constituida por dos metales que son el hierro y el constantan, el conductor positivo en este caso es el hierro mientras que el conductor negativo es la aleación de 45% de níquel y 55% de cobre (constantán), este tipo de termocupla es ideal para atmósferas de escaso oxígeno libre y para temperaturas desde los -200 °C hasta 750 °C, si el rango de temperatura de trabajo sobrepasa los 550 °C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, por lo tanto se requeriría de un alambre de mayor diámetro para extender su vida de servicio. [2].

#### **Limitaciones aplicables para el uso de la termocupla tipo J:**

No son utilizables en atmósferas sulfurosas por encima de 540 °C.

No es recomendable someterla a temperaturas superiores a 760 °C, ya que si posteriormente se necesitase tomar lecturas menores a esta temperatura, la termocupla pierde precisión [2].



### **Termocupla tipo K**

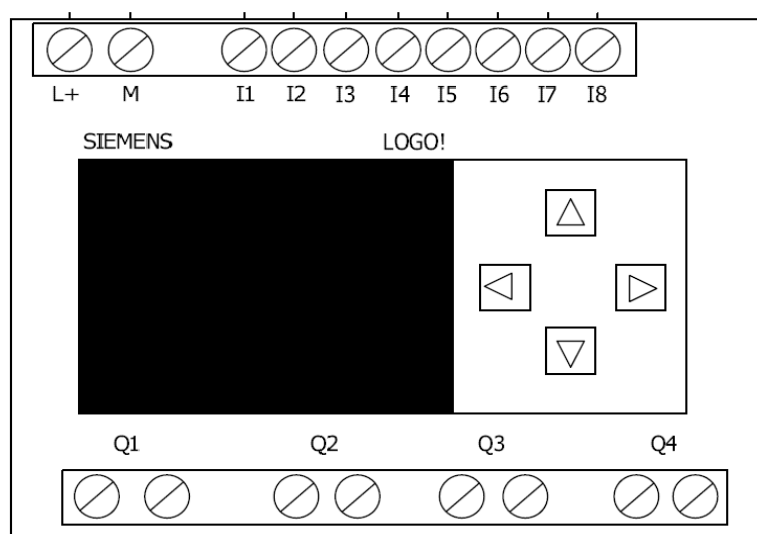
Este tipo de termocupla está formada por la unión de los metales Chromel y Alumel, la aleación de aproximadamente de 90% níquel y 10% de cromo forma el chromel y la aleación de 0.5% níquel más aluminio, silicio y manganeso forma el alumel, su uso recomendado para atmósferas oxidantes y a temperaturas desde los 500 ° C hasta los 1.250 ° C, no se recomienda su uso en atmósferas reductoras ni sulfurosas, si desea usar en ese tipo de atmósferas se debe usar la termocupla con un tubo de protección, genera un rango de fuerza electromotriz entre -6.458 [mV] a 54.875 [mV] [2].

### **Termocupla tipo E**

Llamada también Chromel- Constatán podría usarse en vacío o en atmósferas inertes o medianamente reductoras, posee la cualidad de tener la mayor fem en la salida comparada con las demás termocuplas estándar, recomendable para temperaturas entre -200 ° C a +900 ° C, con una fuerza electromotriz entre -9.835 [mv] a 76.358 [mV] [2].

#### **2.2.2 LOGO! 8 12/24 RCE -6ED1052-1MD00-0BA8**

El modelo cuenta con una pantalla con 3 colores ajustables, posee el grado de protección IP 20 y es energizado con una fuente de tensión 12/24 voltios V DC. Hasta un máximo de 400 bloques de función pueden ser procesados, dicho logo cuenta con 8 entradas digitales, cuatro de las cuales pueden ser utilizadas en modo analógico (0v a 10v), así como 4 salidas digitales, como se muestra en la Figura 2.2 [4].

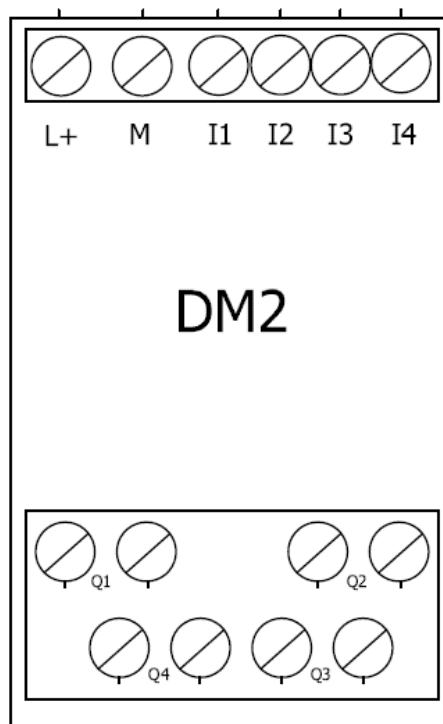


**Figura 2.2: LOGO!8. [4]**

El mismo cuenta con pantalla programable a través de interfaz Ethernet, además tiene la capacidad de comunicarse con otros módulos del LOGO! series y SIMATIC S7 dispositivos. Entre sus aplicaciones destacamos la construcción de sistemas de gestión y control de tiempo programado de luces de tráfico, bombas y sistemas de filtrado etc. [4]

### **MÓDULO DE EXPANSIÓN PARA SEÑALES DIGITALES 6ED1055-1MB00-OBA2**

EL LOGO!8 DM8 modulo 12/2R de expansión cuenta con una entrada de alimentación de 12/24 voltios DC, salidas digitales tipo relé, 4 DI(entradas digitales), 4DO (salidas digitales), esto se puede observar en la Figura 2.3 [4].



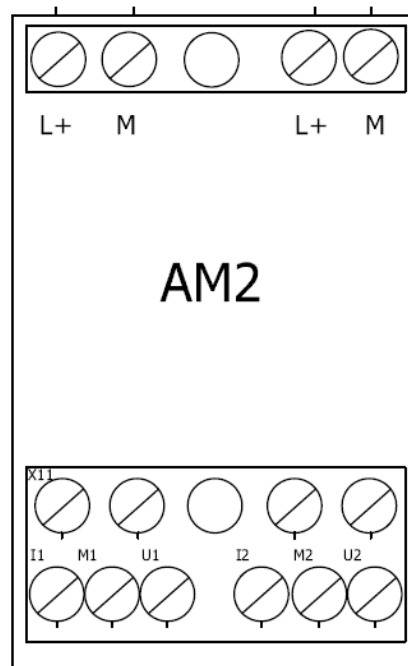
**Figura 2.3: Módulo de expansión para señales digitales. [4]**

El dispositivo tiene el grado de expansión IP 20, se monta en un carril DIN 35 mm y sus aplicaciones destacables son las siguientes:

- Controles de máquina como bombas o filtros
- Filtros y sistemas de transporte
- Equipos de vigilancia
- Sistemas de gestión de edificios

#### **MÓDULO DE EXPANSIÓN PARA ENTRADAS ANALÓGICAS 6ED1055-1MA00-0BA2**

Dicho módulo de expansión 6ED1055-1MA00-0BA2 de Siemens tiene el grado de protección IP 20 y una tensión de entrada de 12/24 voltios DC, el cual proporciona dos entradas analógicas (0-10v y 0/4-20ma), como se muestra en la Figura 2.4 [4].



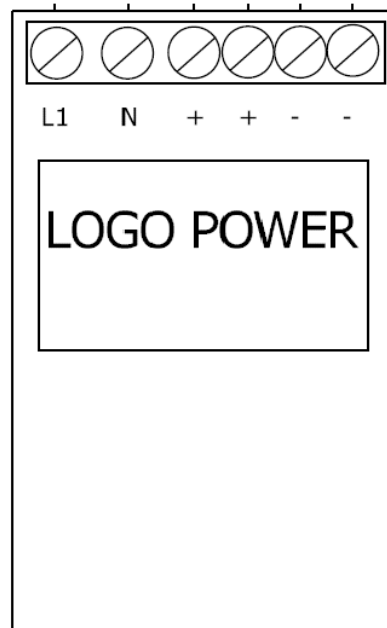
**Figura 2.4: Módulo de expansión entradas analógicas. [4]**

El módulo de expansión debe montarse en un carril DIN 35 mm y sus aplicaciones destacables son las siguientes:

- Controladores de maquina
- Sistemas de transporte
- Sistemas de vigilancia o sistemas de gestión de edificio.

#### **FUENTE DE ALIMENTACIÓN 6EP1332-1SH43 SITOP PS 307**

Utilizada para proveer de energía de manera adecuada a nuestros a los equipos mencionados con anterioridad, diseño resistente, ligero y compacto, como se muestra en la Figura 2.5 [4].



**Figura 2.5: fuente de alimentación. [4]**

- Voltaje de salida entre 5V-24V para adaptarse a una gran variedad de aplicaciones.
- Voltaje de salida ajustable.
- Gran inmunidad a la interferencia.
- Regulador de conmutación primaria con entrada de amplio rango.
- Adecuado para ser usado en tarjetas de distribución pequeñas.

### 2.2.3 Electroválvulas

Las electroválvulas son dispositivos que ejecutan un trabajo muy frecuentemente requerido, la apertura y cierre de circuitos de fluidos. Este dispositivo actúa si recibe una señal eléctrica en sus terminales de entrada, las cuales se conectan directamente a un electroimán conocido como solenoide, el cual es el que produce el trabajo mecánico que permite o detiene el paso del agua, dependiendo del tiempo que dure la señal de excitación en los terminales del solenoide [5].

Esta señal de excitación puede provenir de un controlador lógico programable, de un interruptor de fin de carrera, presostato o de un temporizador eléctrico. El mando a distancia con señal eléctrica es usado más comúnmente en la industria para aplicaciones que requieran de rápida conexión a distancias muy largas [5].

La característica principal de una electroválvula es el voltaje con el cual trabaja su bobina. Se encuentra fácilmente en la industria válvulas con alimentación de 230VAC, aunque también es muy común encontrar las que se energizan con 12V y 24V ya sea en corriente alterna como en corriente continua. La selección de una electroválvula depende mayoritariamente de la tensión que se puede obtener de las fuentes de alimentación del lugar donde se va a instalar la válvula [5].

Hay varios tipos de electroválvulas, según su aplicación, pero las más comunes son:

- Electroválvula de simple efecto con mando directo.
- Electroválvula de simple efecto con mando indirecto.
- Electroválvula de simple efecto con mando mixto.
- Electroválvula motorizada de bola.

#### **Acción directa**

En las figuras 2.6 y 2.7 se muestran los modos de operación de la electroválvula.

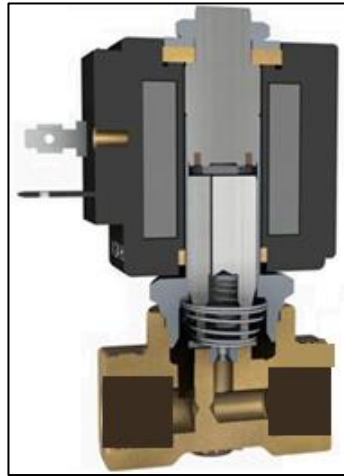


Figura 2.6: Normalmente cerrada. [5]

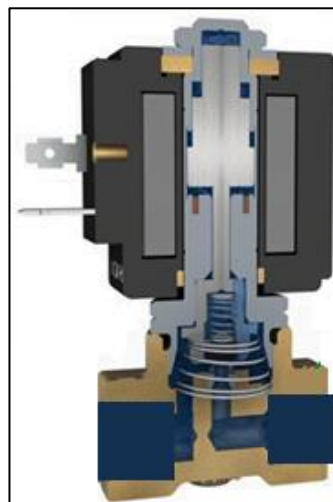
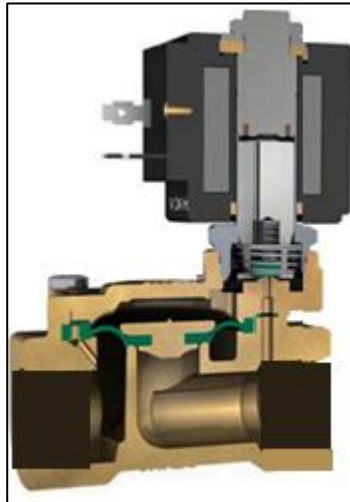


Figura 2.7: Normalmente abierta. [5]

### Acción Indirecta

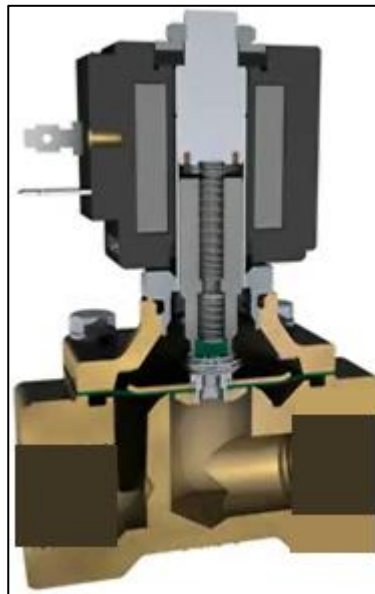
En la figura 2.8 se muestra un ejemplo de una electroválvula de acción indirecta.



**Figura 2.8: Electroválvula de acción indirecta. [5]**

### **Acción Mixta**

En la figura 2.9 se muestra un ejemplo de una electroválvula de acción mixta.



**Figura 2.9: Electroválvula de acción mixta. [5]**



### Electroválvula motorizada de bola

Este tipo de válvulas también suelen ser usadas en la industria, debido a que no necesita mantener la señal eléctrica para que esta trabaje, permite modular, regular o aislar fluidos. Este tipo de válvula es la usada en el proyecto, consta de dos partes, el cuerpo y el motor actuador. El motor que realiza el trabajo de abrir o cerrar la válvula tiene 3 hilos o entradas, una es para el nodo común, las otras dos son las entradas de giro, para que el motor gire en un sentido o en otro. El mecanismo de bola es girado por el motor, dependiendo del tiempo que se mantiene activada la señal en una de las entradas de giro, también cuenta con un interruptor de final de carrera para garantizar que la bola solo gire 90°. En la figura 2.10 se muestra una imagen de la electroválvula motorizada de bola.



Figura 2.10: Electroválvula motorizada. [6]

## CAPÍTULO 3

### 3 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para comenzar con el desarrollo, se tomará como punto de partida la lectura de los manuales de cada equipo seguido de la implementación de pequeños diseños para poder corroborar el correcto funcionamiento de los equipos.

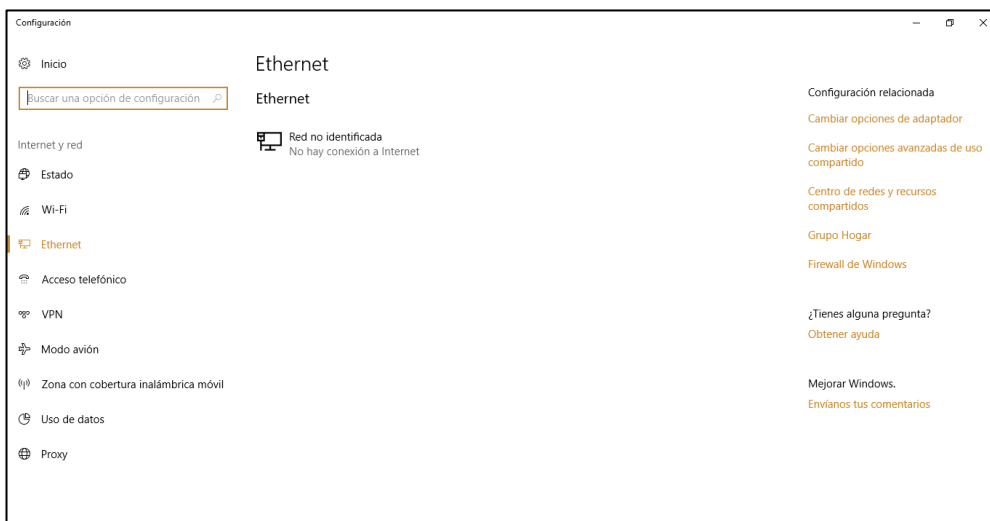
#### 3.1 Como cargar un programa a logo v8

Para cargar un programa a logo v8 primeramente debemos conectar el logo por medio de su cable de red hacia el computador una vez hecho esto encender el logo y verificar que su luz led este parpadeando, como se observa en la figura 3.1.



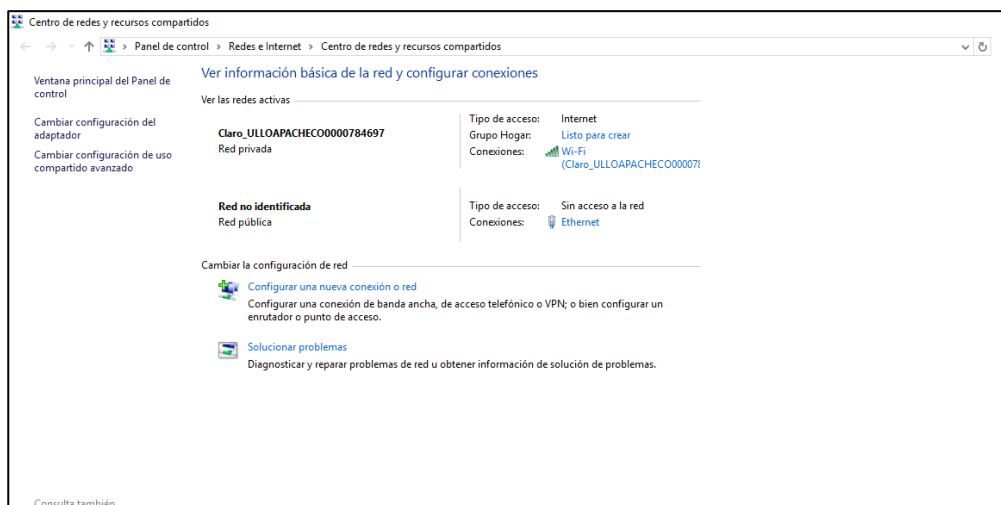
Figura 3.1: Luz indicadora de conexión de red.

Luego dar clic derecho sobre el icono de conexión de red en su computador e ir a “Abrir centro de redes y recursos compartidos” tal como se muestra en la figura 3.2.



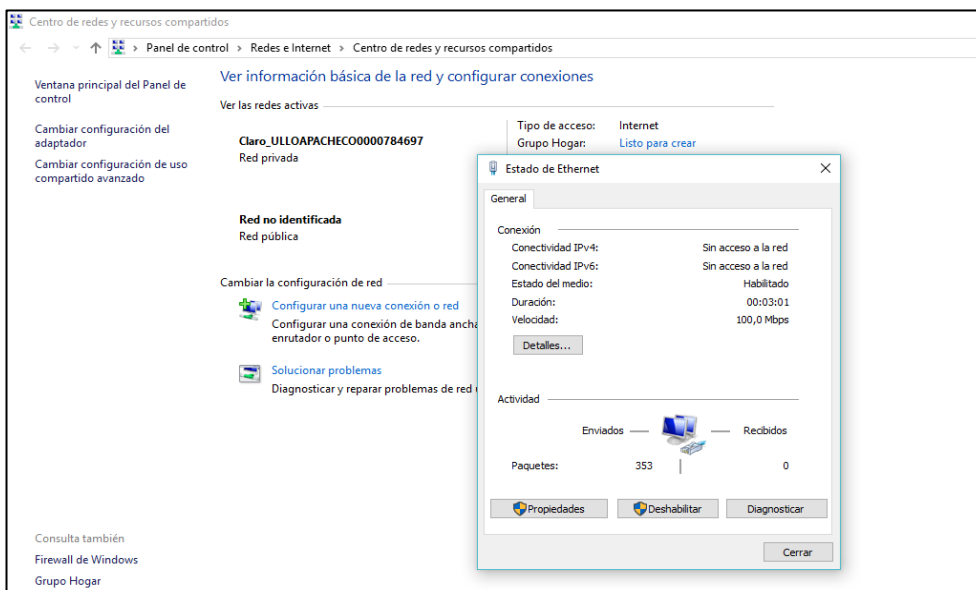
**Figura 3.2: Abrir centro de redes y recursos compartidos.**

Se abrirá la siguiente ventana y dar click en conexiones Ethernet como se muestra en la figura 3.3.



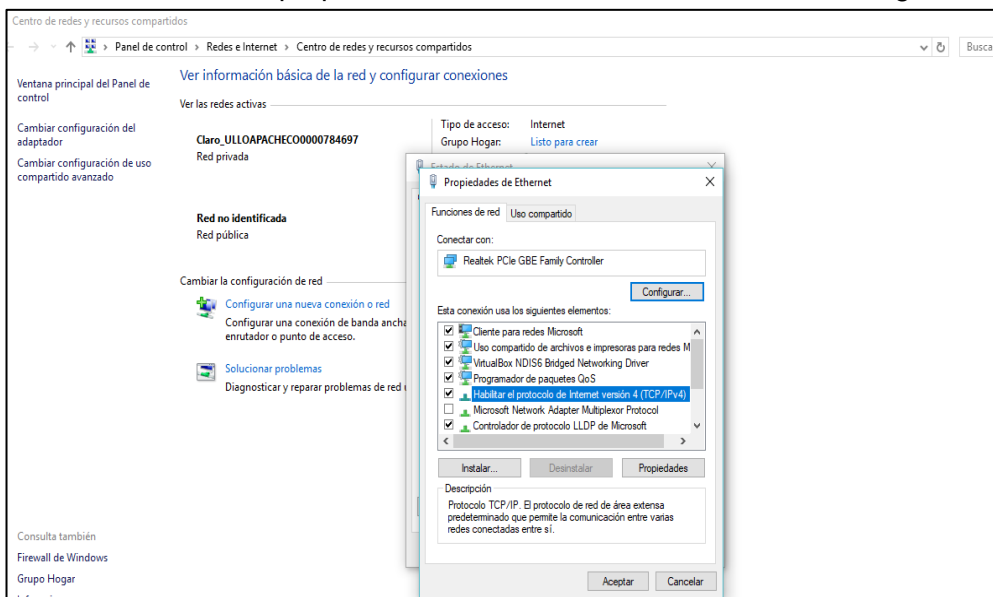
**Figura 3.3: conexiones Ethernet.**

Luego se abrirá la ventana de estado Ethernet y dar click en propiedades, como se muestra en la figura 3.4.



**Figura 3.4: Estado Ethernet.**

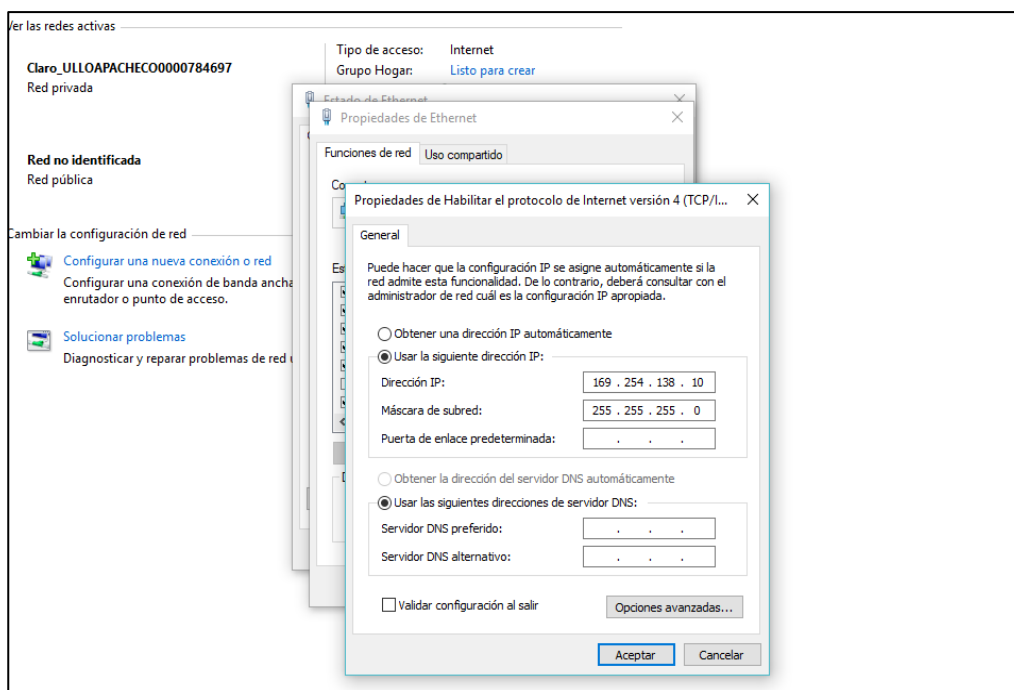
Se abrirá la ventana propiedades Ethernet como se observa en la figura 3.5.



**Figura 3.5: propiedades de Ethernet.**

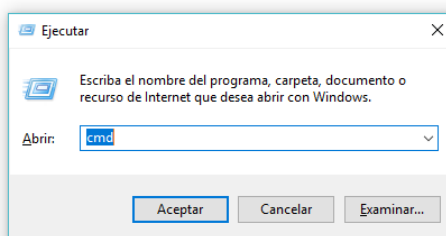
Luego dar doble click en la opción "habilitar el protocolo de internet versión 4(TCP/IPv4)", configurar la dirección IP y en verificar si el LOGO! ya posee

una puerta de enlace, en caso de tenerla también configurarla y dar click en aceptar, como se observa en la figura 3.6.



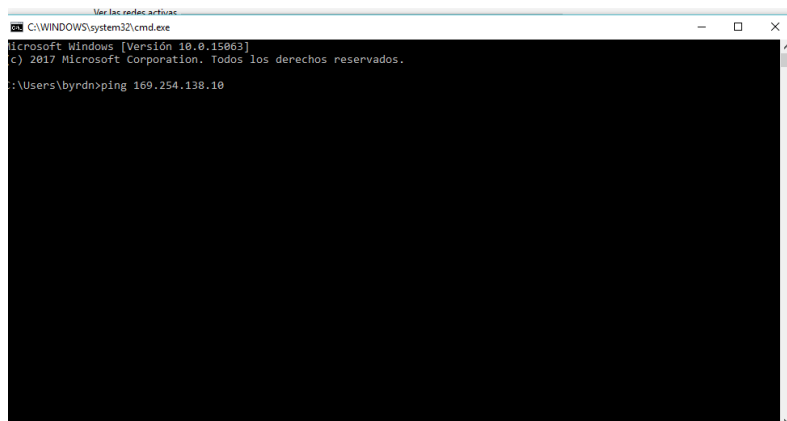
**Figura 3.6: Propiedades de habilitar el protocolo de internet versión 4(TCP/IPv4)”.**

Una vez realizada la configuración procedemos hacer “pin” para confirmar si existe comunicación entre en el LOGO y la PC, presionando las teclas “Windows+r” y se abrirá la ventana en la parte inferior izquierda como se muestra en la figura 3.7.



**Figura 3.7: Pruebas de ping 1.**

Presionamos aceptar y se abrirá la siguiente ventana en la cual digitaremos la IP anteriormente escrita y presionamos “Enter” como se observa en la figura 3.8.

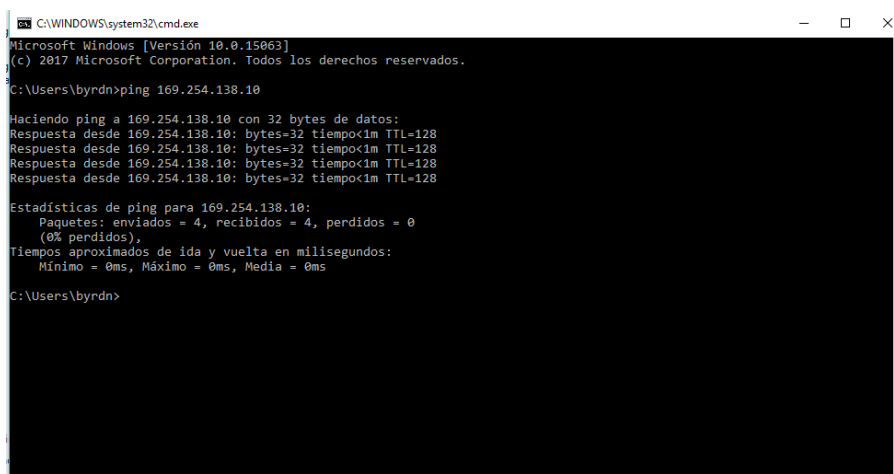


```
Ver las redes activas
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.15063]
(c) 2017 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\byrdn>ping 169.254.138.10
```

**Figura 3.8: Pruebas de ping 2.**

Al presionar Enter deberá empezar hacer ping para comprobar la comunicación entre LOGO y PC, como se observa en la figura 3.9.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.15063]
(c) 2017 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\byrdn>ping 169.254.138.10

Haciendo ping a 169.254.138.10 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 169.254.138.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 169.254.138.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 169.254.138.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 169.254.138.10: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 169.254.138.10:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

C:\Users\byrdn>
```

**Figura 3.9: Prueba de ping 3.**

En el siguiente paso ir abrir el programa “logo soft” y dar click en el menú “Herramientas, Transferir, PC-LOGO. Como se observa en la figura 3.10.

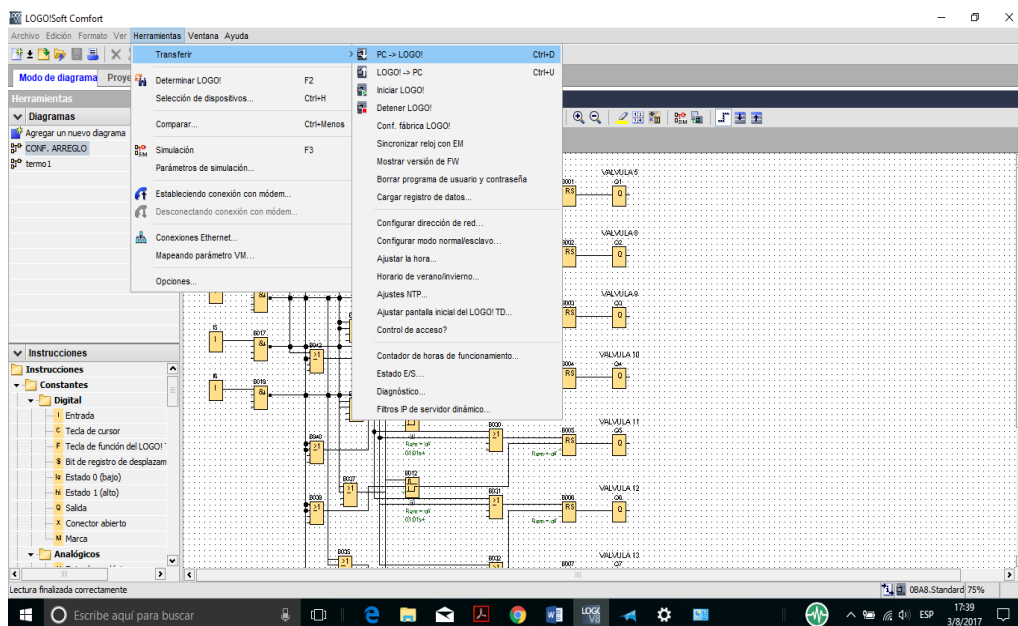


Figura 3.10: transferir PC – LOGO.

Luego dar click en “actualizar” para detectar la configuración ya realizada en pasos anteriores, como se muestra en la figura 3.11 y 3.12.

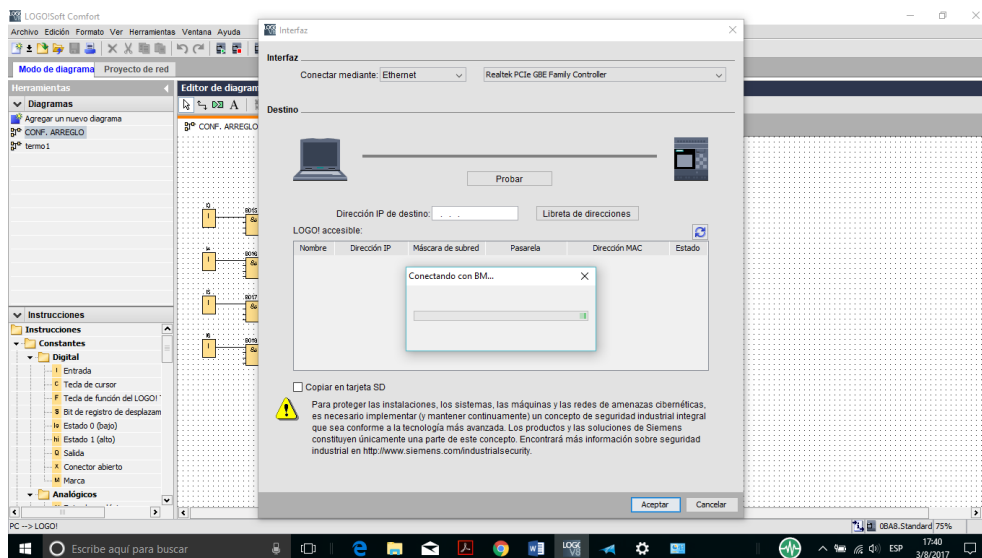


Figura 3.11: Detectando logo 1.

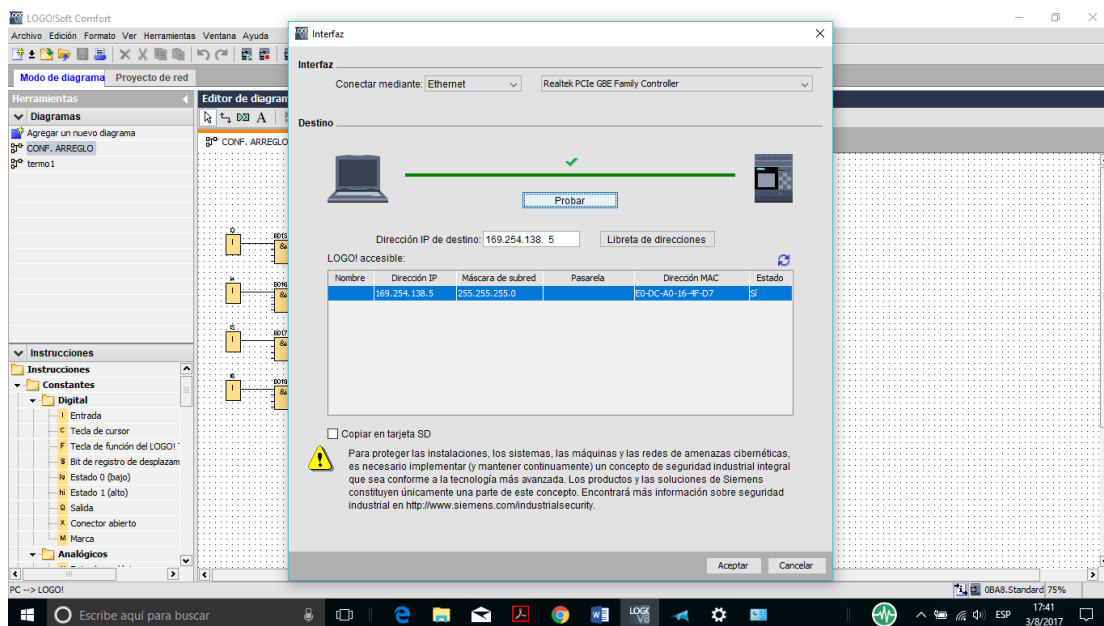


Figura 3.12: Detectando logo 2.

Luego dar click en aceptar y se abrirá la siguiente ventana y presionar en “si”, dado que para correr el programa el logo necesita estar en modo run, como se muestra en la figura 3.13.

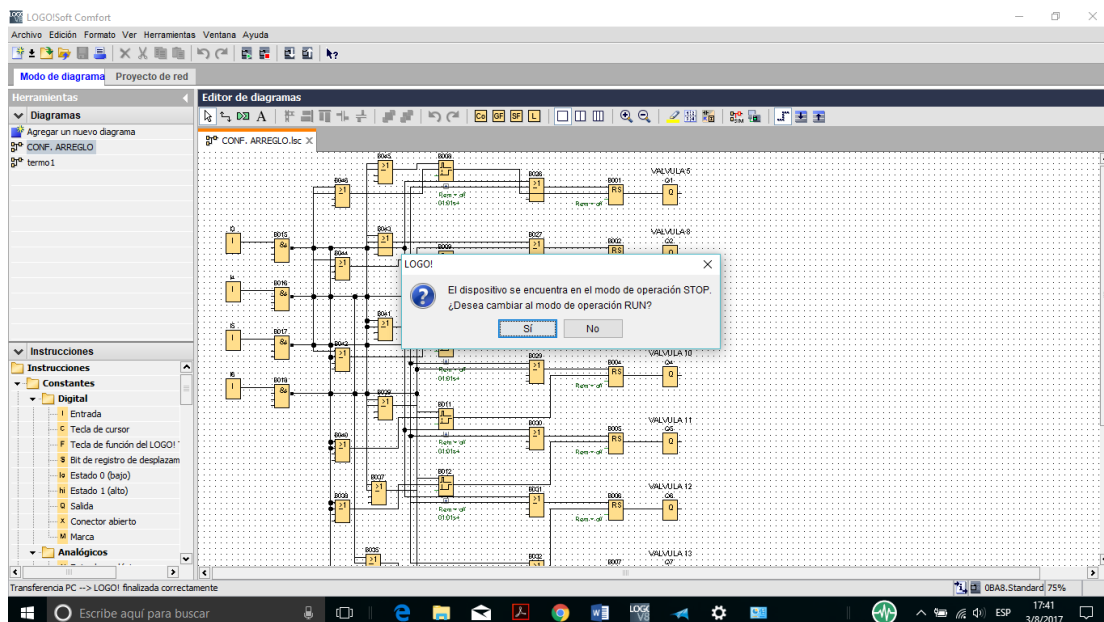
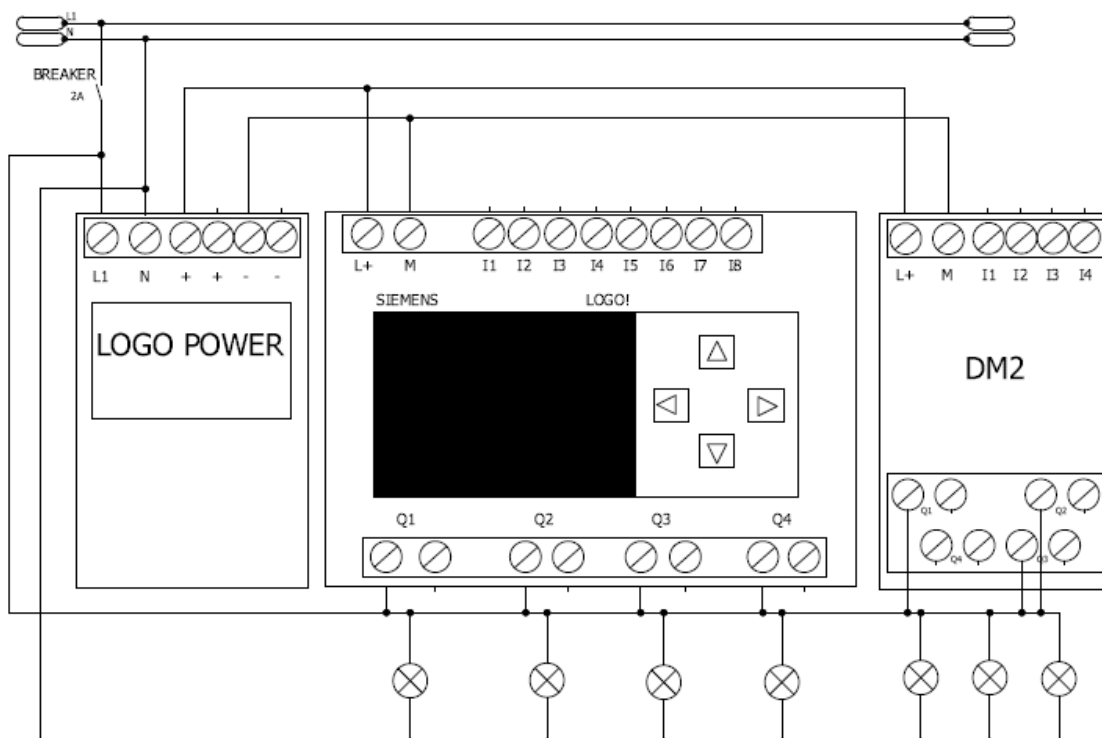


Figura 3.13: Carga de programa PC-LOGO.



### 3.2 Pruebas con luces piloto

Gracias a la experiencia adquirida en la carrera en cursos aprobados como laboratorios de electrónica e instrumentación industrial, pudimos establecer el siguiente diagrama de conexión tal como se muestra en la figura 3.14.



**Figura 3.14: Conexión de logo v8 con fuente de alimentación y luz piloto.**

Comprobando el funcionamiento y procediendo a la implementación hemos decidido cargar el arreglo 1 de manera muy sencilla, esto se muestra en la figura 3.15 y figura 3.16.

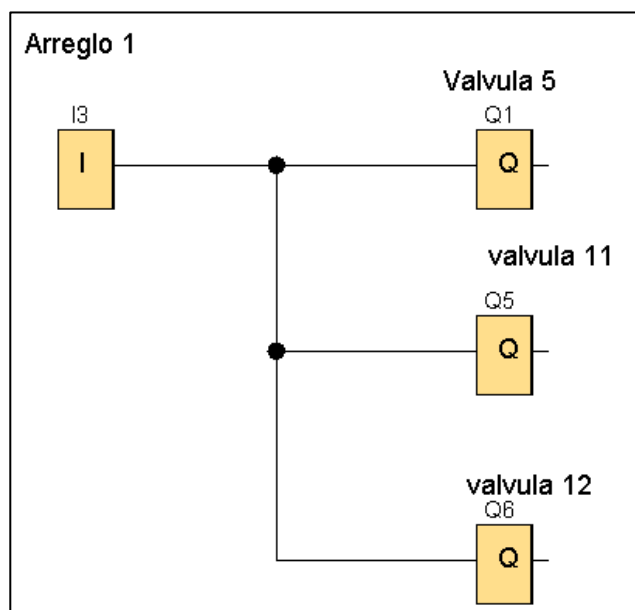


Figura 3.15: Programación de prueba, arreglo 1.



Figura 3.16: LOGO ejecutando el programa de prueba.

### 3.3 Programación de arreglos pre conceptualizados del intercambiador de calor

#### 3.3.1 Explicación

El intercambiador de calor de tubos concéntricos es una planta utilizada para las Prácticas en el Laboratorio de operaciones unitarias para la formación de los futuros ingenieros químicos, tal como se muestra en la figura 3.17.



**Figura 3.17: Planta de prácticas del Intercambiador de tubos concéntricos.**

#### DESCRIPCIÓN DE ARREGLOS

Arreglo 1: fluido de trabajo en Serie; Agua de enfriamiento en paralelo.

Arreglo 2: fluido de trabajo en serie; Agua de enfriamiento a contracorriente.

Arreglo 3: fluido de trabajo en serie-paralelo; Agua de enfriamiento en paralelo.

Arreglo4: fluido de trabajo en serie – paralelo; Agua de enfriamiento a contracorriente.

Los arreglos pre conceptualizados son los siguientes como se observa en la Tabla1.



Abierta.



Cerrada.

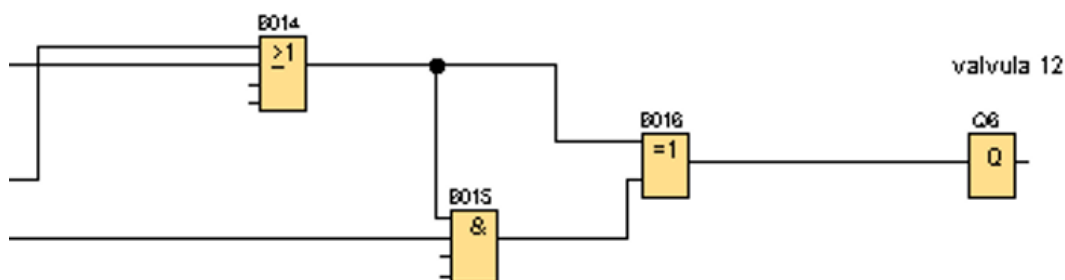
VALVULAS	Arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4
V05				
V08				
V09				
V10				
V11				
V12				
V13				

**Tabla 1: Arreglos pre-conceptualizados.**

### 3.3.2 Programación de electroválvulas parte I

Para un primer ensayo de programación tomamos en cuenta la manera en la que se abren y cierran las válvulas para los distintos arreglos, por esa razón y por facilidad se tomó el siguiente orden, como lo describe la figura 3.18.





**Figura 3.19: Circuito traslado de arreglos.**

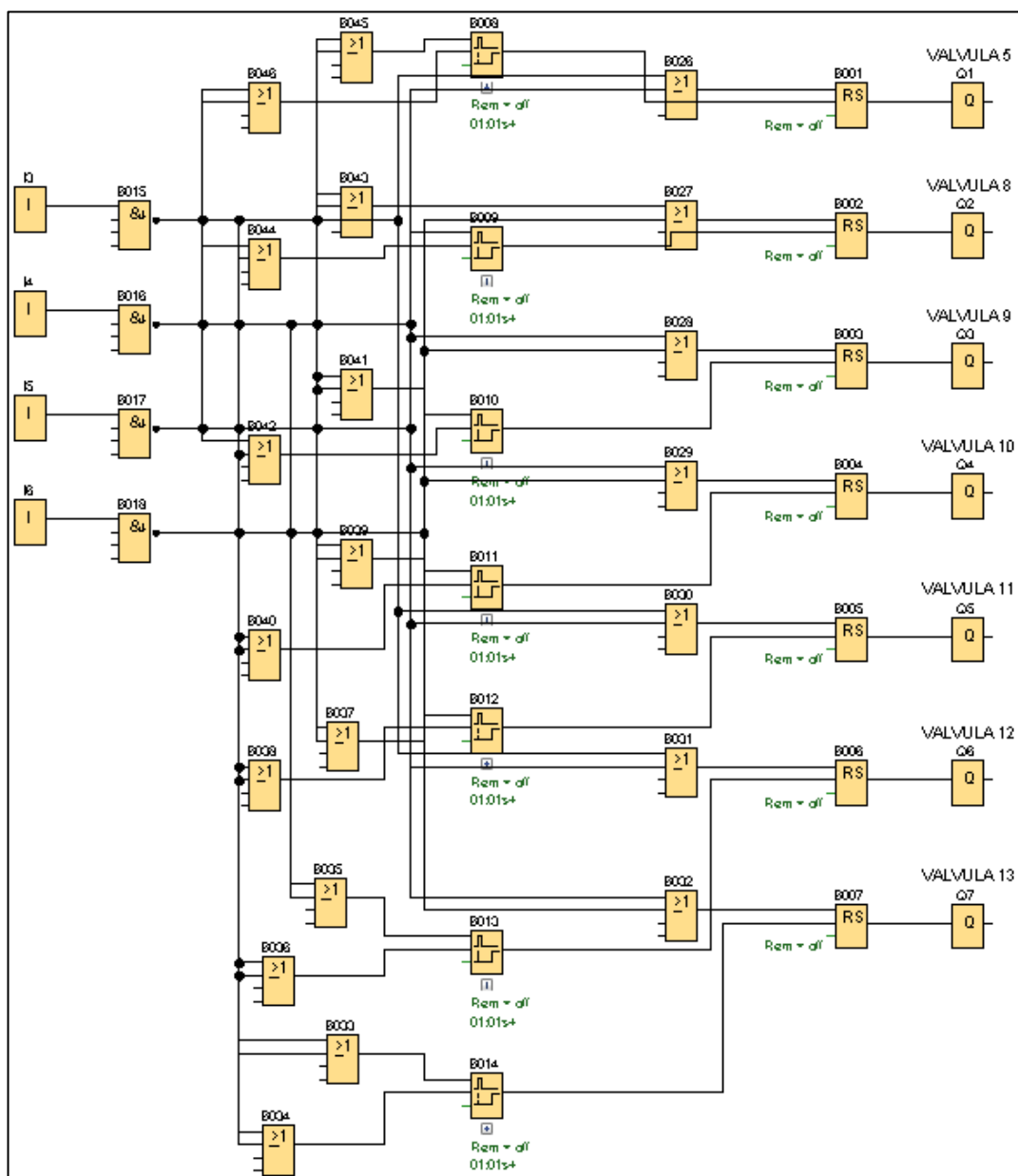
En este circuito nos permitió ir de un arreglo a otro, aunque estén presionados dos arreglos a la vez, el arreglo prevaleciente será el segundo arreglo en ser accionado.

Observación:

Luego de realizar pruebas y las simulaciones respectivas se notó que la programación detallada en la sección 3.1.2 era muy rígida y no nos permitía cambiar de 1 arreglo a otro en cualquier orden sin que existan choques entre las aperturas y cierres de las electroválvulas, dicha programación era válida únicamente para el traslado de arreglos en el orden "Arreglo1 --- Arreglo2 --- Arreglo 3 --- Arreglo 4", por lo cual es necesario hacer una reprogramación.

### 3.3.3 Programación de electroválvulas parte II

En esta programación se tomó en consideración la apertura y cierre de electroválvulas sin que existan choques entre las mismas y así poder seleccionar cualquiera de los arreglos preconceptualizados, haciendo cumplir la finalidad de la automatización industrial, como se observa en la figura 3.20.



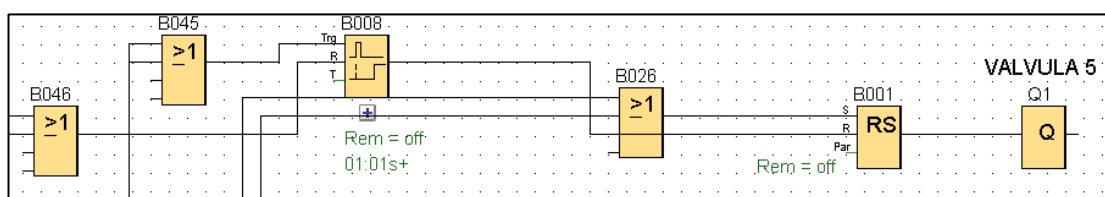
**Figura 3.20: Programa de ensayo de apertura y cierre de electroválvulas, programación parte II.**

#### **Descripción de la programación:**

Principalmente nos apoyamos en el funcionamiento del bloque “RS” el cual nos permitió activar la salida Q “VALVULA deseada”, el cual se activa al dar un alto en la entrada “S” de dicho bloque, y de la misma manera para

desactivarla con la entrada “R” del bloque, la entrada S del bloque es a su vez una salida de una puerta “OR” que contiene como entradas los arreglos que contengan la electroválvula a accionar, y la entrada “R” es a su vez la salida de una puerta “OR” que en sus entradas contiene los arreglos que desactivan la electroválvula de interés.

También juega un papel muy importante el bloque “retardo a la conexión” el mismo que en su entrada “Trg” es la salida de una puerta “OR” que en sus entradas contiene los arreglos que desactivan dicha electroválvula, esperando un tiempo preestablecido y en la entrada “R, reset” del bloque es a su vez la salida de una puerta “OR” que en sus entradas contiene los arreglos que activarían la electroválvula con la finalidad de encerrar el contador del temporizador, tal como se observa en la figura 3.21.



**Figura 3.21: Bloques especiales para funcionamiento correcto del programa.**

### 3.3.4 Adquisición señal analógica

Para la adquisición de señal analógica se realizaron pruebas con termocuplas tipo J y K más los respectivos acondicionadores de señal usados en el proyecto los cuales se clasifican en:

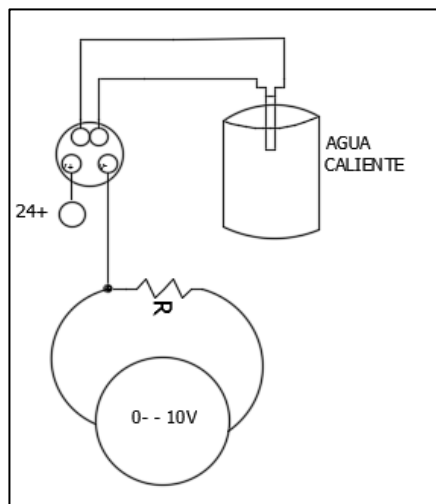
Acondicionadores de señal:

- 0 - - - 800 °C
- 0 - - - 1000°C
- 0 - - - 1300°C

Es necesario obtener una curva en donde se relacione voltaje y temperatura “V vs T” para cada transmisor, también es importancia destacar que la



resistencia de precisión es de 463 OHM, como se muestra en la siguiente figura 3.22, prueba con termocuplas.



**Figura 3.22: Pruebas con termocuplas.**

Acondicionador (0 - - - 800 °C)

Se obtuvieron los siguientes puntos, como se muestra en la tabla 2

Temperatura °C	Voltios V
26	2.21
58	2.59

**Tabla 2: Datos experimentales obtenidos en la salida del acondicionador de 0-800°C.**

Y se obtuvo la siguiente ecuación de la recta:

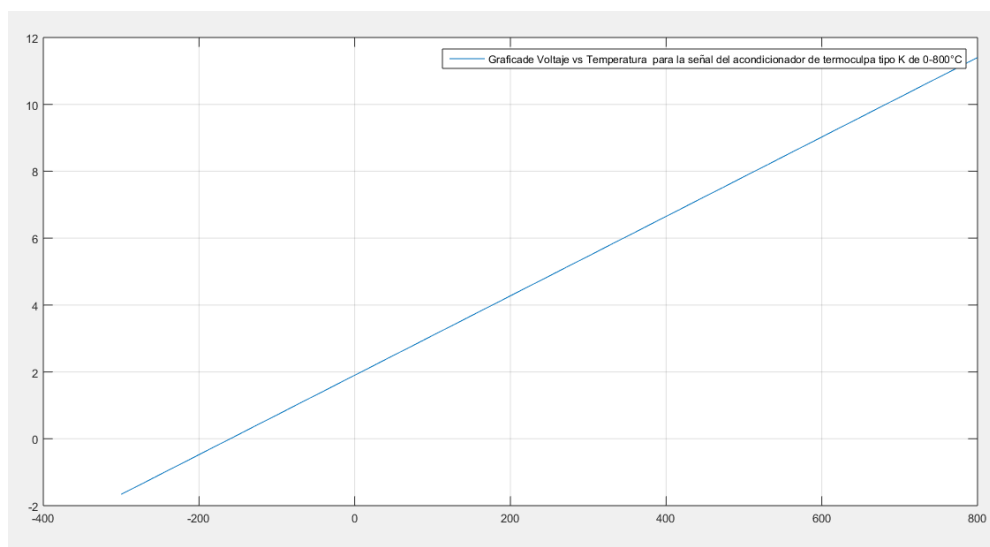
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$

$$m = \frac{2.59 - 2.21}{58 - 28}$$

$$m = 0.0011875$$

$$y = 0.011875x + 1.9 \quad (3.2)$$

Como podemos observar en la figura, grafica ecuación 1



**Figura 3.23: Gráfica de ecuación 1.**

Puntos de interés, como se muestra en tabla 3.

X (temperatura)	V (voltios)
-160	0
682	10

**Tabla 3: Puntos de interés para escalamiento de la señal analógica del acondicionador de 0-800°C.**

Los puntos obtenidos en X, irán en la programación del logo para hacer un correcto escalamiento de la señal.

Acondicionador ( 0 - - - 1000 °C)

Se obtuvieron los siguientes puntos, como se muestra en la tabla 4.

Temperatura °C	Voltios V
26	2
56	2.27

**Tabla 4: Datos experimentales obtenidos en la salida del acondicionador de 0-1000°C.**

Y se obtuvo la siguiente ecuación de la recta:

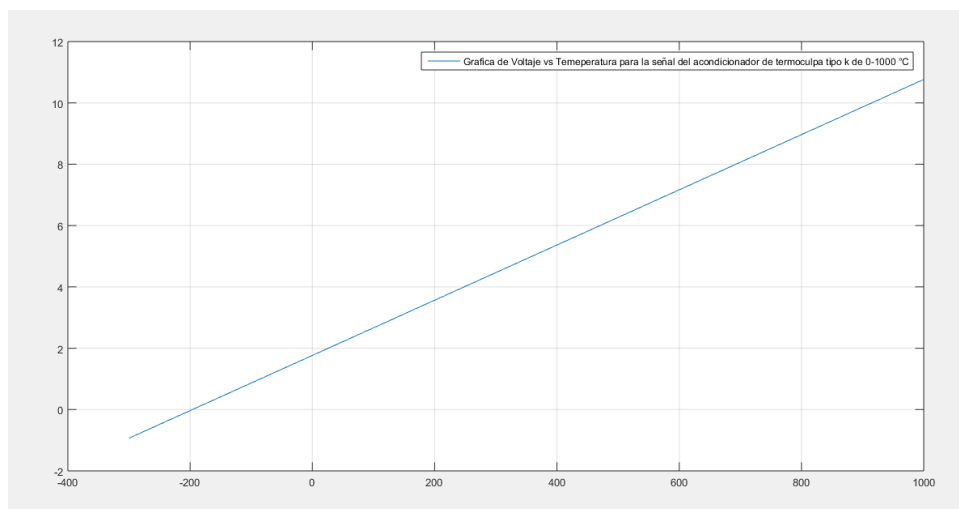
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$

$$m = \frac{2.27 - 2}{56 - 26}$$

$$m = 0.009$$

$$y = 0.009x + 1.766 \quad (3.3)$$

Como podemos observar en la figura 3.24, grafica ecuación 2:



**Figura 3.24: Gráfica de ecuación 2.**

Puntos de interés, como se muestra en tabla 5.

<b>X (temperatura)</b>	<b>V (voltios)</b>
-196.222	0
914.8889	10

**Tabla 5: Puntos de interés para escalamiento de la señal analógica del acondicionador de 0-1000°C.**

Los puntos obtenidos en X, irán en la programación del logo para hacer un correcto escalamiento de la señal.

Transmisor ( 0 - - - 1300 °C)

Se obtuvieron los siguientes puntos, como se muestra en la tabla xx

Temperatura °C	Voltios V
26	1.97
62	2.22

**Tabla 6: Datos experimentales obtenidos en la salida del acondicionador de 0-1300°C.**

Y se obtuvo la siguiente ecuación de la recta:

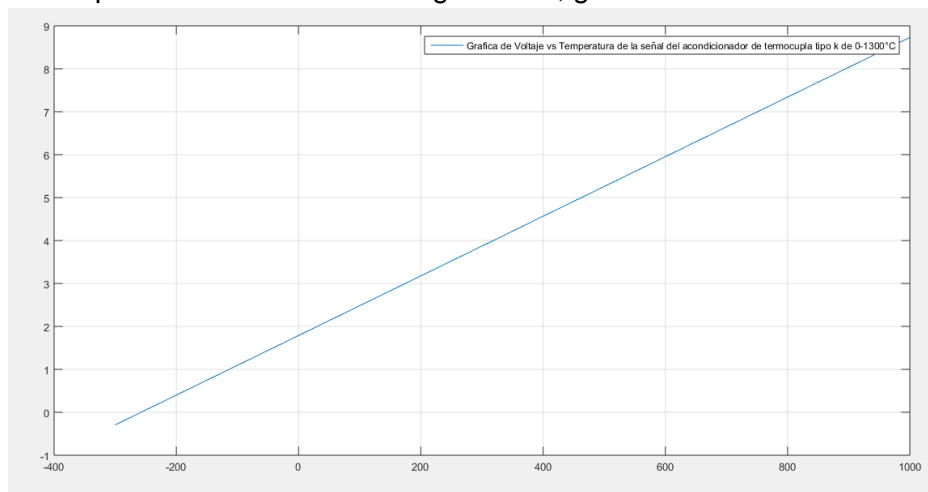
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$

$$m = \frac{2.22 - 1.97}{62 - 26}$$

$$m = 6.94e^{-3}$$

$$y = 0.00694x + 1.789 \quad (3.4)$$

Como podemos observar en la figura 3.25, grafica ecuación 3:



**Figura 3.25: Gráfica de ecuación 3.**

Puntos de interés, como se muestra en tabla 7.

<b>X (temperatura)</b>	<b>V (voltios)</b>
-257.845	0
1183.14121	10

**Tabla 7: Puntos de interés para escalamiento de la señal analógica del acondicionador de 0-1300°C.**

Los puntos obtenidos en X, irán en la programación del logo para hacer un correcto escalamiento de la señal.

## CAPÍTULO 4

### 4 RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se logró automatizar el banco de pruebas de temperatura del intercambiador de calor de tubos concéntricos del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

#### 4.1 COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADOR LOGO! Y PC

Con la correcta configuración de la dirección IP de la PC acorde con la dirección que el LOGO! tenía asignada, se pudo conseguir una comunicación exitosa entre ambos dispositivos, con lo cual que pudo proceder con cargar el programa de control de las electroválvulas y monitoreo de temperaturas. En la figura 4.1 se muestra el mensaje de comunicación exitosa entre PC y LOGO!.

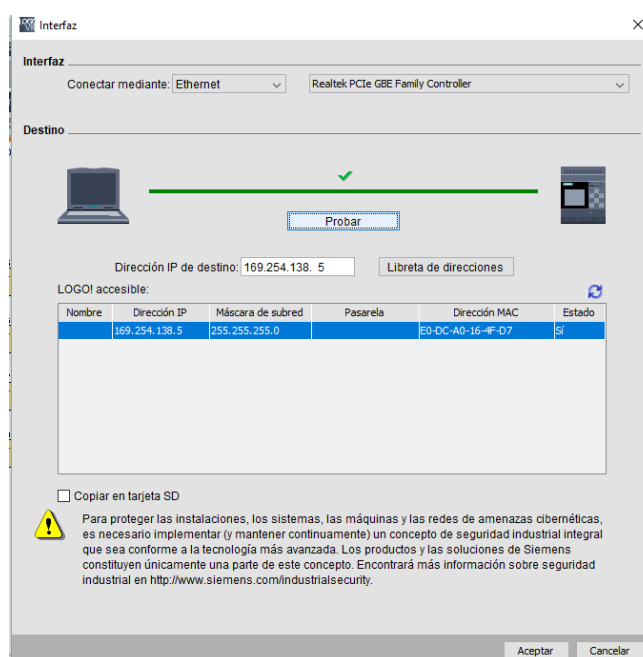
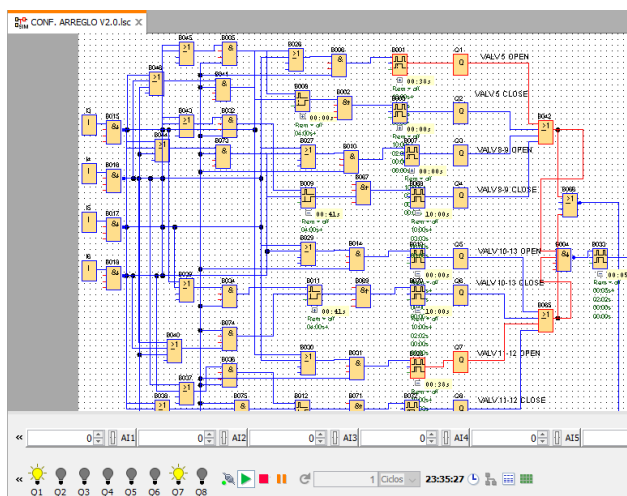


Figura 4.1: Comunicación exitosa entre PC y LOGO.

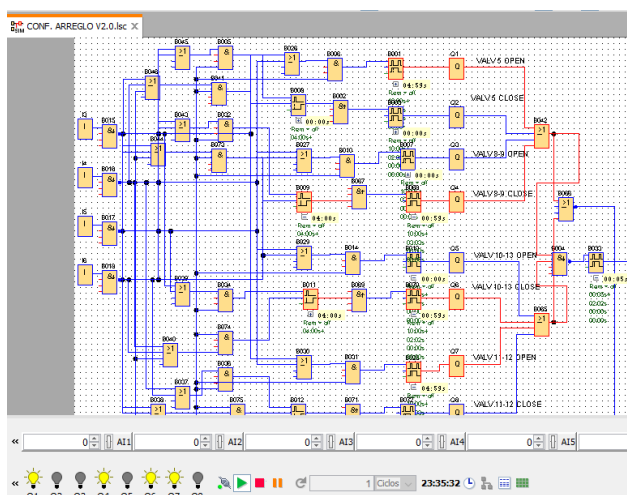
#### 4.2 CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS

Con la programación realizada se pudo lograr que las electroválvulas cambien de estado de abierto a cerrado o viceversa, dependiendo del arreglo preconcebido que se mande a ejecutar con los botones implementados en

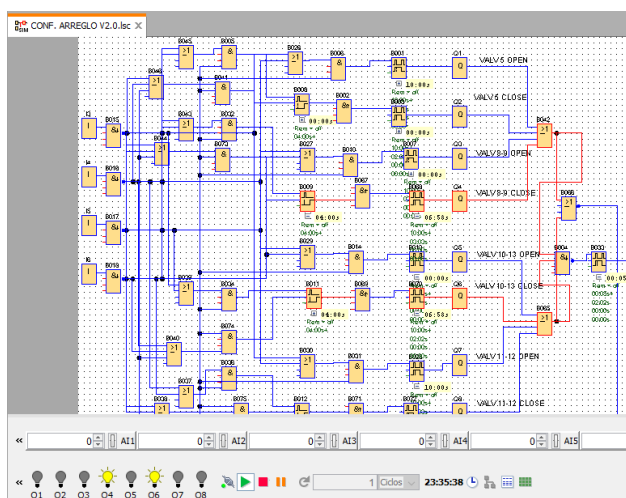
el panel de control. Para cada arreglo, primero se manda la señal de apertura a las válvulas que permanecerá abiertas en la ejecución de ese arreglo. Luego de un intervalo de tiempo configurado de 3 segundos, se activa la señal de cierre de las válvulas que deberán estar cerradas en dicho arreglo. En la duración de las señales de apertura y cierre de las válvulas es de 10 segundos. En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran la secuencia de apertura y cierre de válvulas para la ejecución del arreglo 1.



**Figura 4.2: Señal de apertura de válvulas.**



**Figura 4.3: Señal de apertura y señal de cierre de válvulas (2 segundos después de activarse la señal de apertura de válvulas) según el arreglo seleccionado.**



**Figura 4.4: Señal de cierre de válvulas (las señales de apertura se desactivan luego de 10 segundos, quedando solo las señales de cierre de válvulas).**

#### 4.3 ADQUISICIÓN DE SEÑAL ANALÓGICA

Se obtuvieron los siguientes resultados acorde a cada acondicionador de señal.

Acondicionador ( 0 - - - 800 °C)

Para dicho acondicionador de señal se parametrizó de acuerdo a la siguiente ecuación de la recta.

$$y = 0.011875x + 1.9 \quad (4.1)$$

Acondicionador ( 0 - - - 1000°C)

Para dicho acondicionador de señal se parametrizó de acuerdo a la siguiente ecuación de la recta.

$$y = 0.009x + 1.766 \quad (4.2)$$

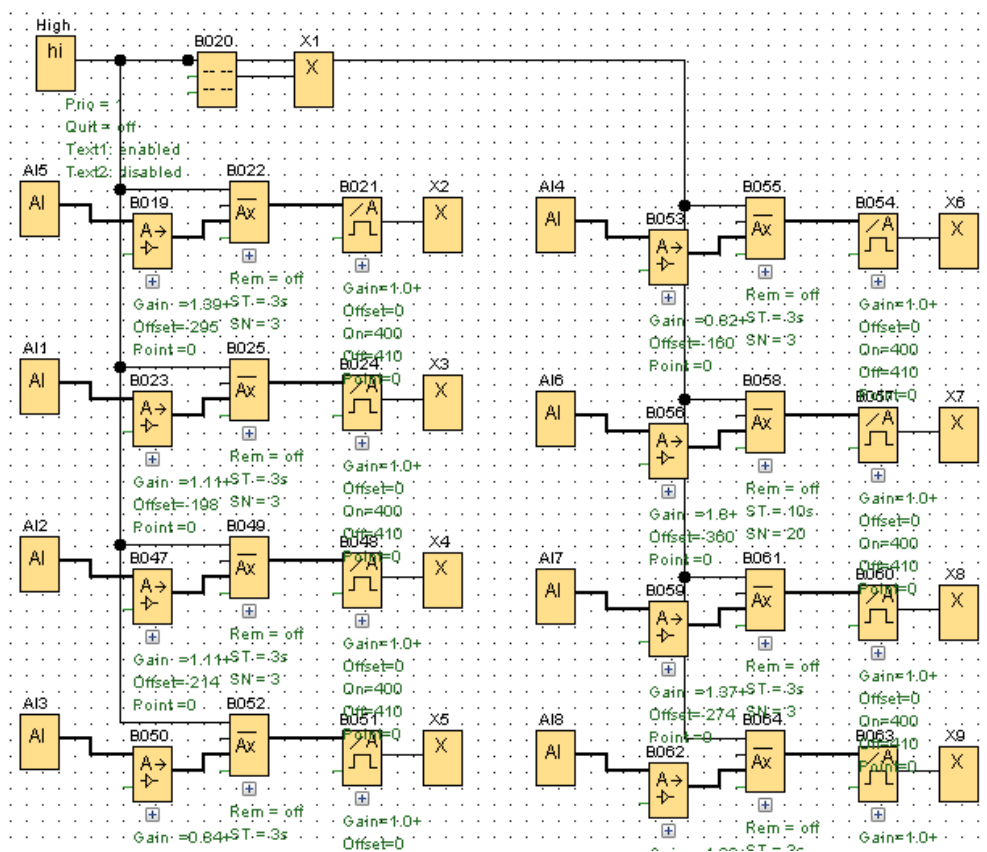
Acondicionador ( 0 - - - 1300°C)

Para dicho acondicionador de señal se parametrizó de acuerdo a la siguiente ecuación de la recta.

$$y = 6.94e^{-3}x + 1.789 \quad (4.3)$$



El resultado de la programación de la adquisición de la señal analógica fue un éxito y se logró con la respectiva toma de datos, como se muestra en la figura 4.5.



**Figura 4.5: Resultado de la programación de señal analógica.**

Se realizaron las siguientes conexiones en el tablero por conveniencia y facilidad del cableado acorde a la distribución de las termocuplas en el intercambiador de tubos concéntricos, como se muestra en la tabla xx

ACONDICIONADOR	TEMPERATURA A MEDIR	TIPO DE ACONDICIONADOR	CONEXIÓN A LOGO Y MOUDLOS AM
1	7	0 - - - 1000°C	I2 -- AM2

2	5	0 - - - 1000°C	I1 - - AM1
3	6	0 - - - 1000°C	I2 - - AM2
4	Tw	0 - - - 1300°C	I2 - - AM1
5	T2	0 - - - 1300°C	I1 - - AM1
6	3	0 - - - 1000°C	I7 - - LOGO
7	4	0 - - - 1000°C	I8 - - LOGO
8	1	0 - - - 800 °C	I1 - - LOGO
9	8	0 - - - 800 °C	I2 - - LOGO

**Tabla 8: Resultado de conexiones.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ejecutó el correcto reemplazo de válvulas manuales por electroválvulas tomando las correcciones necesarias, dado que al momento del reemplazo las electroválvulas hicieron que toda la estructura de tubos concéntricos crezca en tamaño, por lo cual tuvimos que sacar algunos tubos y hacer roscas nuevas para que calce de manera perfecta, como se muestra en la figura 4.6 y figura 4.7.



**Figura 4.6: Válvulas manuales.**



**Figura 4.7: Electroválvulas.**

Se logró una correcta adquisición de la señal analógica y a su vez con la ayuda de un buen escalamiento se obtuvieron resultados coherentes como se observa en la figura 4.8.



**Figura 4.8: Muestreo de temperatura ambiente.**

Se logró una correcta ejecución de los arreglos pre-conceptualizados, aplicando tiempos de apertura y cierre necesarios para garantizar de que las electroválvulas pasen un estado de operación a otro según la hoja de datos, además se aplicó medidas de seguridad en el proceso de apertura y cierre de las electroválvulas para evitar posibles daños en el equipo, como es el caso de que la bomba de agua se encienda y todas las electroválvulas estén cerradas. Con la solución diseñada en la programación, siempre habrá electroválvulas abiertas y cada vez que se ejecuta un arreglo, primero se envía las señales para que las válvulas necesarias se abran y luego de tres segundos se manda a cerrar las electroválvulas indicadas, según el arreglo seleccionado.

Se logró la correcta instalación del panel de accionamiento para cada una de las secuencias pre-conceptualizadas en la operación de esta planta, además este panel permite el accionamiento de la bomba que envía el agua a ser calentada en el sistema. También permite la selección del sensor para visualización de punto de temperatura a través del display del LOGO!. El panel instalado se lo puede observar en la figura 4.9.



**Figura 4.9: Panel de accionamiento.**

Se recomienda realizar análisis de ruido eléctrico en toda la estructura de los tubos concéntricos y aplicar correctivos para evitar errores en la medición de temperatura a futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Rojas, C. O. Varela, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS A ESCALA PILOTO", Proyecto de graduación, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, 2015.
- [2] A. Creus Sole, "CAPITULO 6 Medida de temperaturas en INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL, 7ma Edición. Mexico, Alfa Omega, 2008.
- [3] M. Á. Pérez García, Generadores de señal en INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA, Edición 2014. España, Ediciones Parainfo. 2014.
- [4] LOGO! Manual, SIEMENS AG, Múnich, Alemania, 2017.
- [5] Yamel Mattarollo, Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general [online]. Altec Alta Tecnología de Vanguardia, SA de CV. Monterrey, N.L. Mexico, 2014. Disponible en: <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>.
- [6] T25-S2-C Motor Operated valve. TAIZHOU TONHE FLOW CONTROL EQUIPMENT Co.,Ltd. China, 2017 [online].. Disponible en: <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>