

Tecnológico de Costa Rica  
Área Académica de Ingeniería en Mecatrónica



**Automatización del proceso de clorado en la entrada principal  
de agua en Planta Cristal de Florida Bebidas**

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de  
Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Philip Murillo Jiménez

Cartago, 20 de junio, 2018



Declaro que el presente documento de tesis ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos y resultados experimentales propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de tesis realizado y por el contenido del presente documento.



Philip Murillo Jiménez

Cartago, 20 de junio de 2018


Céd: 2-0737-0275




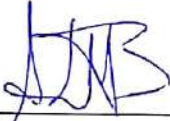
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Área Académica de Ingeniería Mecatrónica  
Proyecto de Graduación  
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Miembros del Tribunal

  
Ing. Arys Carrasquilla Batista  
Profesora Lectora

  
Ing. Johanna Muñoz Pérez  
Profesora Lectora

  
Ing. Ana Lucía Morera Barquero  
Profesora Asesora

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el Área Académica de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 20 de junio de 2018



# Resumen

En este documento se detalla el proceso de diseño e implementación de una automatización en el sistema de clorado de la entrada principal de agua en una industria de bebidas, mediante la adaptación de válvulas electroneumáticas en las entradas de fluidos y sensores en los tanques para obtener un lazo cerrado de control. Se utiliza el controlador lógico programable SLC 500 y la interfaz humano - máquina PanelView Plus 1000, ambos de Allen Bradley, para el manejo, visualización y control del sistema; las conexiones eléctricas, neumáticas y programas se analizan en detalle. Finalmente se concluye con un análisis económico del proyecto.

**Palabras clave:** Automatización, PLC, Diagrama en escalera, HMI, Electroválvulas





# Abstract

This document details the process of designing and implementing an automation in the chlorination system of the main water inlet in a beverage industry, by adapting electro-pneumatic valves in the fluid inlets and sensors in the tanks to obtain a closed loop of control. The programmable logic controller SLC 500 and the human-machine interface PanelView Plus 1000, both from Allen Bradley, are used for the management, visualization and control of the system; electrical, pneumatic connections and programs are analyzed in detail. Finally, it concludes with an economic analysis of the project.

**Keywords:** Automation, PLC, Ladder Diagram, HMI, Electrovalves



*a todos los que han estado conmigo en este proceso*



# Agradecimientos

Este proyecto no hubiese sido posible sin el apoyo de mi familia, amigos y el Tecnológico de Costa Rica.

Philip Murillo Jiménez

Cartago, 20 de junio de 2018



# Índice general

Índice de figuras	III
Índice de tablas	v
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
<b>2. Marco teórico</b>	<b>5</b>
2.1. Automatización	5
2.2. Controlador Lógico Programable (PLC)	6
2.2.1. Direccionamiento en PLC SLC 500 de Allen Bradley	8
2.2.2. Lenguajes de programación utilizados por los PLC	11
2.3. SCADA	14
2.3.1. FactoryTalk View Studio	15
2.4. Neumática	18
2.4.1. Válvulas de distribución neumáticas	18
2.4.2. Actuadores neumáticos	20
2.5. Sensores	22
2.5.1. Sensores de nivel	22
<b>3. Automatización del proceso de clorado del agua</b>	<b>25</b>
3.1. Análisis del proceso de clorado existente y la forma en que se logra la concentración deseada de cloro en el agua utilizada en la planta	25
3.2. Requerimientos del sistema	28
3.3. Análisis de elementos I/O requeridos para la automatización	29
3.4. Selección y adaptación de sensores y actuadores en el cuarto de dosificación	31
3.5. Conexiones eléctricas y canalizaciones	37
3.6. Conexiones neumáticas	41
3.7. Programación en escalera del PLC	43
3.7.1. Modificaciones en subrutina MAIN	45
3.7.2. Modificaciones en subrutina ALARMAS	45
3.7.3. Modificaciones en subrutina CICLOS	46

---

3.7.4. Modificaciones en subrutina CLORO . . . . .	47
3.8. Programación de HMI . . . . .	50
3.9. Calibración y pruebas de funcionamiento . . . . .	59
<b>4. Resultados y análisis</b>	<b>63</b>
4.1. Concentración de cloro en el agua . . . . .	63
4.2. Análisis económico . . . . .	65
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>69</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	69
5.2. Recomendaciones . . . . .	70
<b>Bibliografía</b>	<b>71</b>
<b>A. Manual de Operación del Sistema</b>	<b>73</b>



# Índice de figuras

1.1. Descripción de la metodología. . . . .	2
2.1. Arquitectura interna de un PLC. . . . .	7
2.2. PLC SCL 500 de Allen Bradley. . . . .	8
2.3. Ejemplo de lenguajes de programación en PLC. . . . .	11
2.4. Bloques de comparación en RsLogix 500. . . . .	12
2.5. Bloque MOV en RsLogix 500. . . . .	13
2.6. Bloque de salto a subrutina (JSR) en RsLogix 500. . . . .	13
2.7. Bloque de escalado de parámetros (SCP) en RsLogix 500. . . . .	13
2.8. Ejemplo de pantalla en HMI. . . . .	14
2.9. Interfaz del software Factory Talk Studio. . . . .	15
2.10. Ventana de tags en FactoryTalk Studio. . . . .	17
2.11. Tipos de mando en válvulas de distribución. . . . .	18
2.12. Vías y posiciones en válvulas de distribución. . . . .	19
2.13. Ejemplo de representación de válvula. . . . .	19
2.14. Ejemplos de representación de válvulas. . . . .	20
2.15. Bomba neumática de doble diafragma. . . . .	21
3.1. Detalle de los elementos disponibles en el cuarto de dosificación de cloro. . . . .	26
3.2. Detalle del elemento encargado de la dosificación de las bombas de inyección de mezcla. . . . .	27
3.3. Detalle de los elementos presentes en el panel 2. . . . .	30
3.4. Válvula de mariposa para el control de flujo de agua. . . . .	31
3.5. Adaptación para acoplar la válvula de control de flujo de agua. . . . .	32
3.6. Detalle del resultado de la unión de la válvula para el agua. . . . .	33
3.7. Electroválvula para el control de la bomba neumática. . . . .	33
3.8. Sonda capacitiva de nivel Endress Hauser Multicap T. . . . .	34
3.9. Detalle de la pieza para el acople de la sonda con el tanque. . . . .	34
3.10. Unión final de la sonda con el tanque de mezcla. . . . .	35
3.11. Boya de nivel. . . . .	36
3.12. Acople para boya de nivel. . . . .	36
3.13. Unidad de control de la válvula para el agua. . . . .	37
3.14. Unidad de control FEC 12 de la sonda de nivel. . . . .	38
3.15. Detalle de conexión de la electroválvula. . . . .	39

3.16. Entradas de aire comprimido. . . . .	41
3.17. Diagrama de conexiones neumáticas. . . . .	42
3.18. Detalle del árbol de proyecto del programa antes de la automatización del clorado. . . . .	43
3.19. Detalle de la modificación en la subrutina MAIN. . . . .	45
3.20. Lógica de encendido de alarmas en el PLC. . . . .	46
3.21. Reset de Alarmas en subrutina CICLOS. . . . .	46
3.22. Control manual de electroválvula de agua. . . . .	47
3.23. Control manual de electroválvula de aire. . . . .	47
3.24. Lectura del sensor de nivel y ajuste de parámetros. . . . .	48
3.25. Conversión de lectura analógica por parte del módulo Flex I/O 1794-IE8. . . . .	49
3.26. Control en modo automático de las electroválvulas. . . . .	49
3.27. Paro de emergencia por sobrenivel de mezcla o falta de cloro. . . . .	50
3.28. Reset de botones en modo manual. . . . .	50
3.29. Árbol del programa en Factory Talk. . . . .	52
3.30. Pantalla 1-PRINCIPAL. . . . .	52
3.31. Pantalla 11- TANQUE AGUA. . . . .	53
3.32. Pantalla 10- CLORO. . . . .	54
3.33. Comparación de las pantallas 12- MOTORES AGUA y 15- ELECTRO- VALVULAS CLORO. . . . .	56
3.34. Sección de configuración de alarmas (Agregar alarma). . . . .	57
3.35. Sección de configuración de alarmas (Mensajes) . . . . .	57
3.36. Detalle de la calibración de la sonda capacitiva. . . . .	60
4.1. Gráfica de concentración de cloro en la semana de prueba. . . . .	63
4.2. Resumen del cálculo del VAN y TIR para un periodo de 10 años. . . . .	67

# Índice de tablas

3.1. Análisis de entradas y salidas requeridas en los módulos del panel 2. . . . .	29
3.2. Resumen de entradas y salidas requeridas en los módulos del panel 2. . . . .	29
3.3. Resumen de conexiones en la unidad de control de la válvula de mariposa. . . . .	37
3.4. Resumen de conexiones en el panel 2. . . . .	40
3.5. Direccionamiento en el PLC. . . . .	44
4.1. Resumen del costo de los componentes utilizados en el proyecto. . . . .	65
4.2. Resumen del costo de la mano de obra utilizada en el proyecto. . . . .	65
4.3. Resumen del costo total del proyecto. . . . .	66
4.4. Resumen de posibles ahorros obtenidos a través del proyecto. . . . .	66



# Capítulo 1

## Introducción

Planta Cristal de Florida Bebidas está ubicada en San Joaquín de Flores en Heredia y se dedica a la producción de algunas de las bebidas más populares a nivel nacional; marcas como Tropical, Kerns, Agua Cristal, Tampico, entre otras, son hechas desde cero en la planta. El proceso abarca desde la elaboración de las bebidas hasta el empaquetado y etiquetado.

La mayor parte de los procesos ya se encuentran totalmente automatizados; sin embargo, quedan algunos por automatizar. El clorado del agua utilizada en las bebidas producidas, que debe cumplir con ciertos estándares debido a que se trata de un producto de consumo humano, es una de las tareas que faltan por automatizar y cuyo proceso de automatización será utilizado como proyecto de graduación.

Actualmente se cuenta con un cuarto donde están ubicados el tanque de solución de cloro, las entradas de agua provenientes del manantial y los pozos, el tanque destinado a la mezcla agua- cloro que se utiliza y la salida de agua al proceso, bombas y llaves para controlar el flujo de los líquidos. Cada 8 horas aproximadamente el personal de la planta debe ir a este cuarto para controlar manualmente el equipo.

Control de calidad toma muestras cada cierto tiempo de la mezcla de agua- cloro para verificar que se encuentre en los rangos establecidos. En caso negativo, el personal debe desplazarse nuevamente a la zona para abrir y cerrar válvulas de forma que se cumpla con lo deseado.

De manera general la planta ya cuenta con la infraestructura (tomas de aire comprimido para la bomba neumática, agua, tanques, electricidad) y el equipo (PLC, HMI, electroválvulas y sensores) para llevar a cabo la automatización y el control automático del clorado del agua.

Planta Cristal posee una extensión territorial de aproximadamente 75 000 metros cuadrados esto implica que muchos de los procesos están alejados entre sí y sobretodo de los cuartos de control.

La sección dedicada al clorado del agua se encuentra en una de las regiones más alejadas

de la planta y no está conectada a ningún cuarto de control. Además el proceso de clorado actualmente es realizado de manera “manual”, es decir, personal de la planta debe desplazarse hasta dicha sección cada cierto tiempo para abrir y cerrar llaves, encender y apagar bombas para lograr la concentración de cloro requerida.

Dicha necesidad de movilizarse constantemente para la inspección del proceso representa una pérdida de tiempo y energía que puede ser dedicada por el personal encargado de estas funciones en otras tareas.

Debido a que se elaboran productos de consumo humano, en este caso bebidas, la concentración de cloro en los rangos establecidos es esencial para garantizar un producto seguro y de calidad.

En la figura 1.1 se describe el enfoque utilizado para solucionar el problema. Es importante aclarar que el orden de las etapas puede variar ligeramente, incluso pueden darse de manera simultánea.



**Figura 1.1:** Descripción de la metodología. Elaboración propia usando Cacao

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo General

- Diseñar e implementar el control automatizado del proceso de clorado de la entrada principal de agua en Planta Cristal mediante un sistema mecatrónico.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Analizar el proceso de clorado existente y la forma en que se logra la concentración deseada de cloro en el tanque de mezcla actualmente.
- Determinar la cantidad de entradas y salidas requeridas para la automatización del proceso.
- Elaborar la programación del PLC Allen Bradley SLC 500, adaptaciones para los sensores y actuadores así como las conexiones eléctricas y neumáticas necesarias para el funcionamiento del sistema.
- Programar la pantalla Allen Bradley Panel View 1000 Plus para el adecuado control del sistema de clorado.
- Validar que la concentración de cloro esté en los rangos deseados por la empresa.
- Realizar un análisis económico del proyecto.





# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1. Automatización

La transformación de materias primas en bienes o productos, que poseen algún valor para las personas corresponde a una actividad que ha acompañado a la raza humana por millones de años. La manufactura en sus inicios implicaba la realización de esa transformación con las manos; sin embargo, con el desarrollo de nuevas tecnologías y la automatización se convirtió en la industria tal y como la conocemos actualmente.

La automatización según el diccionario de Oxford corresponde a la aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria. El proceso de automatización industrial no ocurrió de la noche a la mañana si no que responde a una serie de eventos, necesidades, descubrimientos e intereses en un largo periodo. Siendo la disminución del tiempo de producción, para obtener mayores beneficios, el principal motivante para la aplicación de la tecnología en la industria.

Tornos, fresadoras, prensas son parte de la maquinaria más utilizada en la década de los 50s para realizar las tareas de manufactura [16], creando una gran dependencia entre la habilidad del operario y el resultado final del producto.

Con los avances en la electrónica y sobretodo con el desarrollo de los semiconductores, especialmente la elaboración del primer transistor en 1947 por John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley [14], surgen los controladores lógicos programables (PLC por sus siglas en inglés) dando como resultado una industria que cada vez requiere de menos intervención humana.

## 2.2. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los sistemas de control de procesos previos a los PLC se basaron en el uso de relés electromecánicos, no obstante, estos poseían muchas desventajas entre ellas que en automatizaciones grandes el cableado resultaba de gran complejidad y requerían de operarios muy capacitados para realizar y mantener las instalaciones; la detección de errores o fallos en el sistema tardaba mucho tiempo y sobretodo porque cada variación implicaba grandes modificaciones a las conexiones.

El PLC (Control Lógico Programable) surgió con la finalidad de eliminar el enorme costo económico y de tiempo que significaba el reemplazo de un sistema de control basado en relés electromecánicos, a finales de los años 60. Pocas herramientas de automatización han tenido el impacto alcanzado por el primer autómatas para la industria del automóvil, un autómatas que data del año 1968 y fue presentado por Bedford Associate. Era el MODICON 084 (Modular Digital Controller), considerado el primer PLC comercializado [9].

De acuerdo con [9] un autómatas programable (PLC o Programmable Logic Controller) es toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en entornos industriales procesos de naturaleza combinacional y secuencial. Al tratarse de un elemento de control de procesos de propósito general posee la ventaja que es amoldable a prácticamente todas las situaciones en las que se necesite una automatización.

La arquitectura interna de cualquier PLC está generalmente compuesta por los bloques que se muestran en la figura 2.1 .

Entre los principales bloques destacan:

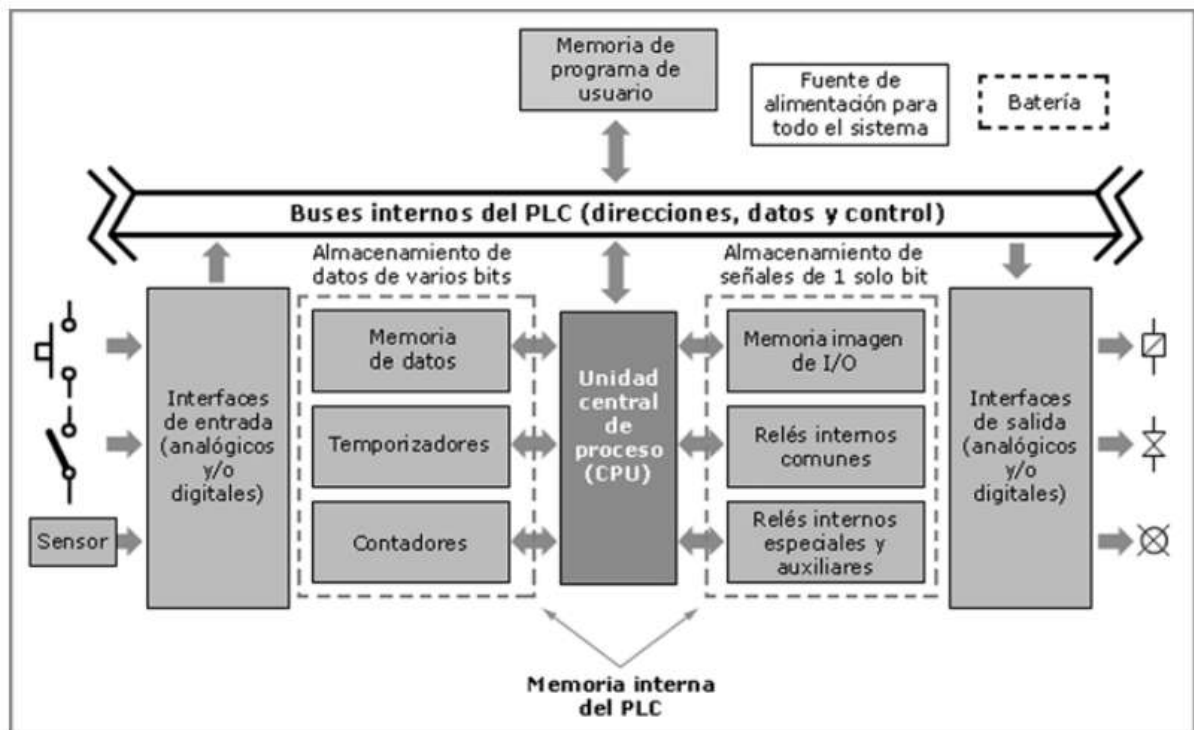
- Fuente de alimentación o de poder.
- Unidad central de procesamiento o CPU por sus siglas en inglés.
- Interfaces de entradas.
- Interfaces de salidas.
- Banco de memorias internas.

### Fuente de poder

Es el elemento encargado de suministrar la energía al Controlador así como a los elementos de entradas y salidas que lo requieran. Generalmente realiza una conversión de la tensión de entrada de la red eléctrica (110 V – 120 V en corriente alterna) a 24 V en corriente continua.

### Unidad central de procesamiento o CPU

El CPU es la sección encargada de recibir la información proveniente de los módulos de entradas (sensores), para tomar decisiones basadas en el programa o la lógica que le fue



**Figura 2.1:** Arquitectura interna de un PLC. Fuente: [9]

cargada y de esta forma modificar los módulos de salidas.

### Interfaces o módulos de entradas

En esta sección se conectan los captadores (sensores). La conexión y lectura va a depender del tipo de entrada que puede ser digital o analógica, este último requiere de un convertor A/D.

### Interfaces o módulos de salidas

Los actuadores (motores, bobinas, sirenas...) o dispositivos encargados del control de encendido de actuadores (contactores, variadores,...) van conectados con el módulo. De igual forma que con las entradas pueden ser digitales o analógicas (requiere convertor D/A).

### Banco de memorias internas

De acuerdo con [9] está compuesto por:

1. Memoria de programa: Espacio destinado para el programa de control realizado por el usuario.

2. Memoria interna (contadores, temporizadores, relés internos): Memoria utilizada para el control y manejo de ciertas instrucciones ya programadas.
3. Memoria imagen de entradas y salidas: relacionada con el almacenamiento y lectura de la información de las interfaces I/O.

### 2.2.1. Direccionamiento en PLC SLC 500 de Allen Bradley

De manera mas específica se trata del PLC SLC 500 5/05; sin embargo, la programación es la misma para los diferentes procesadores existentes de la serie SCL 500. En el fondo la figura 2.2 se muestra el PLC utilizado y al frente los cinco procesadores disponibles, siendo el último a la derecha el 5/05.



**Figura 2.2:** PLC SCL 500 de Allen Bradley. Fuente: [8]

De acuerdo con [8] y [4] algunas de sus principales características son:

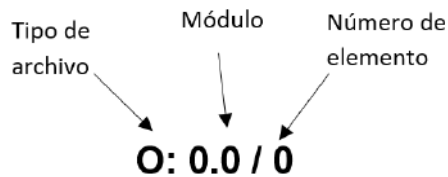
- Diseño Modular.
- Programación mediante diagrama en escalera o texto estructurado.
- Puertos de comunicación RS-232/422/423 y Ethernet.
- Protocolo de comunicación DeviceNet.
- Capacidad de entradas y salidas de hasta 4096 entradas discretas/4096 salidas discretas.

La manera de acceder a los espacios de memoria, destinados para los diferentes tipos de datos (entradas, salidas, binarios, enteros, flotantes, temporizadores,...) que puede manejar un PLC, se realiza mediante el direccionamiento. Este puede variar considerablemente entre controladores y marcas, por lo tanto, el direccionamiento que se detallará a continuación corresponde al PLC SLC 500 de Allen Bradley utilizando RsLogix 500. Las direcciones presentan variaciones dependiendo del tipo de dato que se maneja.

De forma general todos poseen elementos alfanuméricos separados mediante caracteres como los dos puntos o la barra inclinada. El primer caracter define el tipo de dato que se va a manejar, pueden ser entrada (I), salida (O), binarios (B), enteros (N), flotantes (F), contadores (C), temporizadores (T).

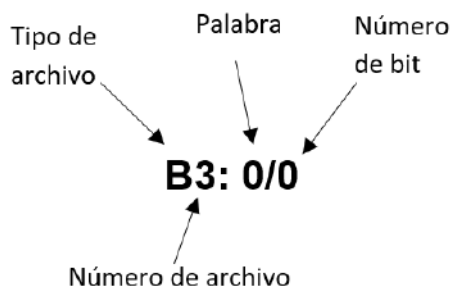
## Entradas y salidas digitales

El número en el módulo va a depender del slot en el que esté ubicado dentro del panel, mientras que el número de elemento va a depender de la cantidad de entradas y salidas que posee el módulo. Para el caso de los módulos utilizados en el proyecto van de 0 a 15.



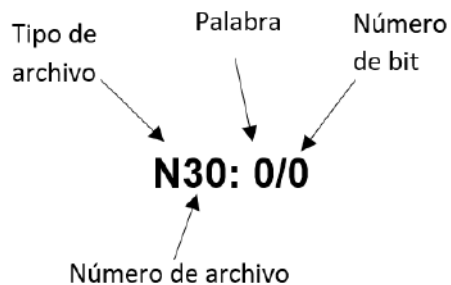
## Datos binarios

Los datos binarios están formados por un bit de información. Permiten el almacenamiento de información de contactos internos para el control.



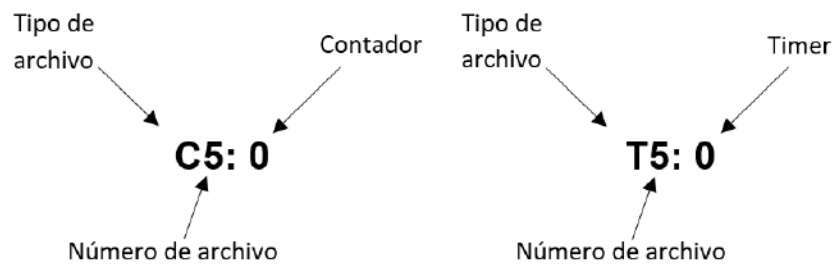
## Enteros

Utilizan los 16 bits disponibles para almacenar un número entero; sin embargo, es posible acceder a cada bit individualmente con el direccionamiento que se muestra.



## Timers y contadores

Cada PLC posee una cantidad limitada de timers y contadores determinados por el número de archivo.



Los datos flotantes poseen la misma forma de direccionarse que los timers y contadores, se utilizan para el almacenamiento de datos provenientes de cálculos que requieran decimales.

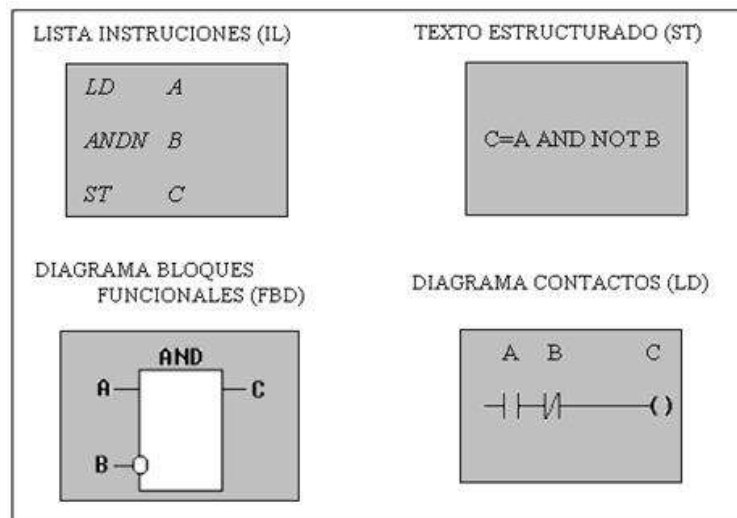
### 2.2.2. Lenguajes de programación utilizados por los PLC

Los lenguajes de programación de la lógica para los PLC están regidos por la norma IEC 1131 - 3 [2], esta norma busca la estandarización en la programación del control industrial.

De acuerdo con la norma se puede hablar de 2 tipos de lenguajes, los literales y los gráficos:

1. Literales: Lista de Instrucciones (Instructions List, IL); Texto Estructurado (Structured Text, ST)
2. Gráficos: Diagrama de Escalera (Ladder Diagram, LD); Diagrama de Bloques Funcionales (Function Block Diagram, FBD); Diagrama de Flujo Secuencial (SFC)

En la figura 2.3 se muestra un ejemplo de 4 de los 5 lenguajes de programación de un PLC según la norma.



**Figura 2.3:** Ejemplo de lenguajes de programación en PLC. Fuente: [1]

El diagrama en escalera resulta de particular interés para el lector debido a que es el lenguaje utilizado para la programación de la automatización en este proyecto.

#### Diagrama de contactos o de escalera

El nombre diagrama de escalera surge de su similitud con una escalera, está compuesto por peldaños con instrucciones que se ejecutan de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Los contactos, las bobinas y bloques funcionales, para ciertas instrucciones más complejas, son utilizados para la programación.

Las instrucciones relativas a contactos se resumen en:

- | [- Contacto normalmente abierto o XIC (Examinar si está cerrado)
- |/[- Contacto normalmente cerrado o XIO (Examinar si está abierto)

Mediante ambos tipos de contactos, las ramas y algunos bloques funcionales se logra condicionar las salidas según las necesidades del programador. Los contactos pueden estar ligados a entradas, marcas internas, bits de control de temporizadores o timers, entre otros.

Los elementos condicionales van del lado izquierdo de cada línea de programa, mientras que las bobinas van del lado derecho

Las instrucciones para las bobinas corresponden a las siguientes:

- ( )- Salida energizada (OTE)
- (L)- Salida tipo Set o latch (OTL)
- (U)- Salida tipo reset o unlatch (OTU)

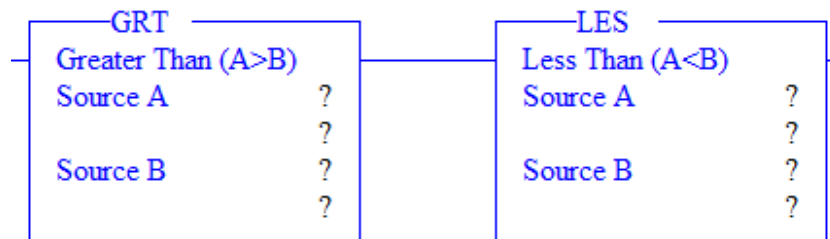
El procesador analiza los elementos condicionales verificando si son verdaderos o falsos, de forma que cuando es verdadero permite el paso de la energía y si es falso lo interrumpe. Cuando todos los elementos en una línea son verdaderos permiten llegar hasta las bobinas y modificarlas.

Las bobinas OTE solo se mantienen encendidas mientras los condicionales que la preceden sean verdaderos y permitan un camino hacia la bobina. Las bobinas OTL y OTU permanecen encendidas o apagadas, respectivamente, con solo que los condicionales lo permitan un momento sin importar si luego se tornan falsos.

Es posible a partir de contactos y bobinas OTE generar la misma función que una bobina OTL u OTU, no obstante, implica un aumento en la cantidad de componentes y complejidad del programa.

Entre los bloques funcionales de particular interés para la comprensión de algunas secciones posteriores del documento destacan los comparadores, mover, escalar parámetros y el salto a subrutina.

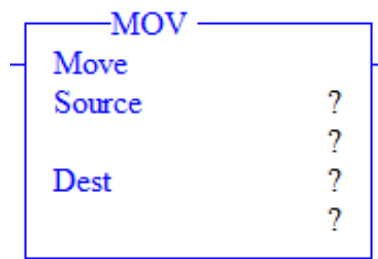
Existen comparadores de mayor que, menor que, igual que,... En la figura 2.4 del lado izquierdo aparece un comparador mayor que y del lado derecho uno menor que, la lógica detrás de ambos es la misma y el mismo bloque explica el funcionamiento.



**Figura 2.4:** Bloques de comparación en RsLogix 500. Fuente: Elaboración propia

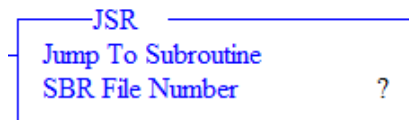
La función MOV mostrada en la figura 2.5 sirve para mover los datos desde algún punto, una entrada analógica por ejemplo, a otra dirección de memoria del PLC. En la fuente (source) se coloca el dato que se quiere mover y en destino (dest) el lugar donde se quiere guardar.





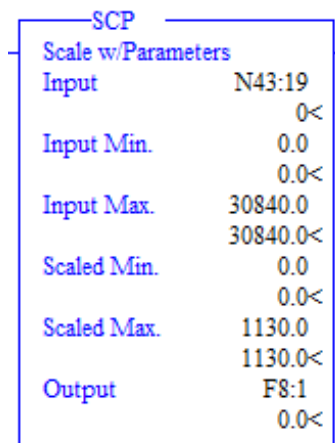
**Figura 2.5:** Bloque MOV en RsLogix 500. Fuente: Elaboración propia

La función de salto a subrutina (JSR) permite realizar una programación más ordenada mediante subprogramas donde el programa principal o main, llama a cada subprograma para la ejecución de las instrucciones en su interior. El único dato que requiere para el funcionamiento es el número de subrutina a la que se desea llamar, en la figura 2.6 se muestra el detalle del bloque en el programa.



**Figura 2.6:** Bloque de salto a subrutina (JSR) en RsLogix 500. Fuente: Elaboración propia

El bloque de escalado de parámetros permite tomar un rango de valores, los datos de entrada de un sensor analógico por ejemplo, y convertirlo en otro rango que resulta más representativo para la variable que se está midiendo. En la figura 2.7 se muestra como el dato de entrada (Input) N43:19, cuyos valores están entre 0 y 30840, se escalan a valores entre 0 y 1130 que corresponden a la cantidad de litros en un tanque; el dato calculado se guarda como un flotante en F8:1.



**Figura 2.7:** Bloque de escalado de parámetros (SCP) en RsLogix 500. Fuente: Elaboración propia

## 2.3. SCADA

El nombre de Scada (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) aplica a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo [18].

Una parte importante de los sistemas SCADA corresponde a las interfaces hombre - máquina o HMI por sus siglas en inglés, estas disponen de una interfaz gráfica con sinópticos gráficos formados por un fondo fijo y varias zonas activas con animaciones que cambian a diferentes formas y colores [15]. Permiten la creación de pantallas que muestran, generalmente, el esquema de la instalación y, sobre ellas, elementos que representan las variables de entrada y salida.

En la figura 2.8 se muestra una pantalla en un Panel View 1000 de Allen Bradley, es posible apreciar la forma en que se representan sensores de entrada como nivel de tanques y elementos de salida como el estado de las bombas y los aquavar.

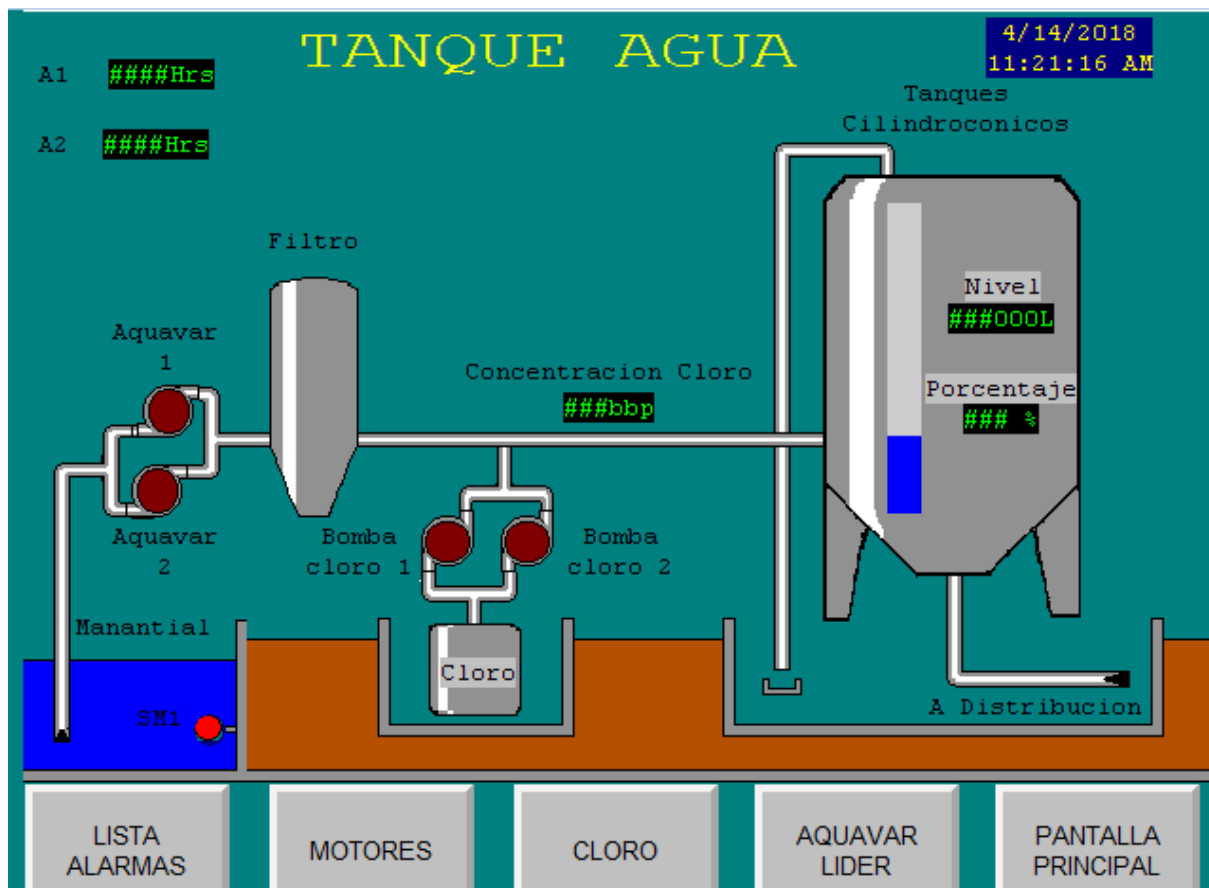


Figura 2.8: Ejemplo de pantalla en HMI. Fuente: Elaboración propia

En el ejemplo mostrado también aparecen botones para la navegación entre pantallas, algunas de las cuales permiten no solo la monitorización sino el control de elementos del proceso, como la selección de modo de funcionamiento o el encendido y apagado de

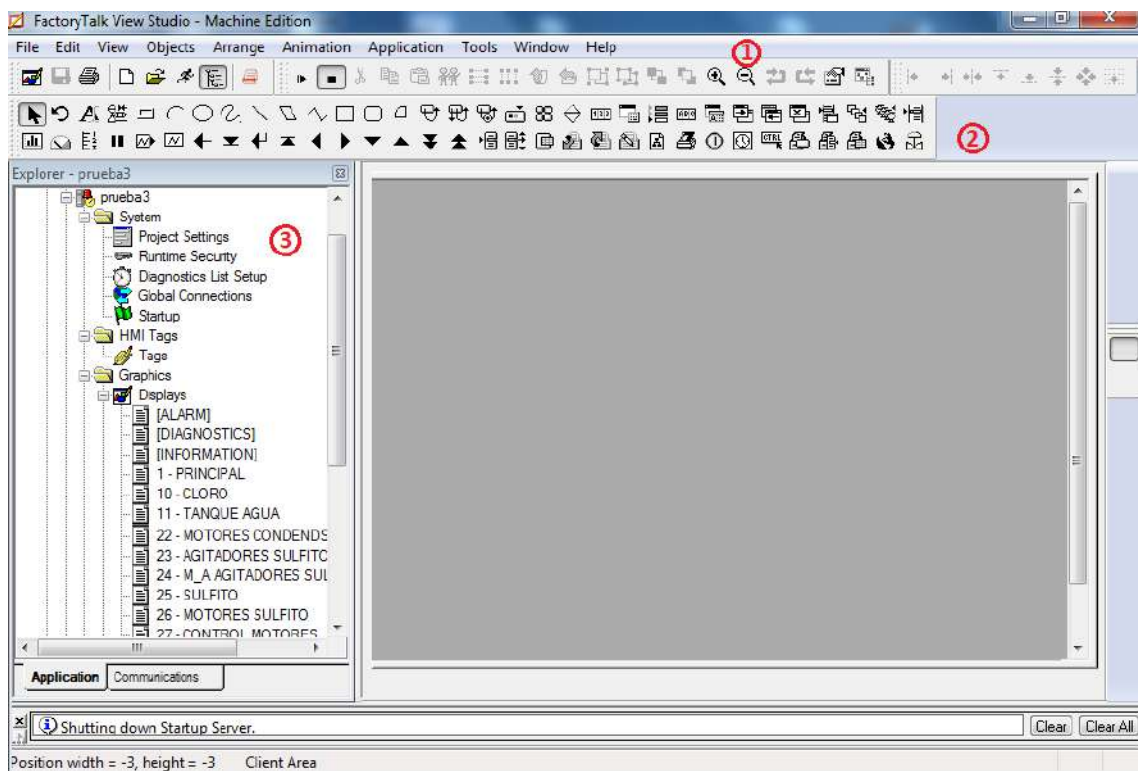
bombas.

Las aplicaciones HMI se conectan mediante interfaces de comunicación, con dispositivos como los PLC para el intercambio de información. Las comunicaciones en este proyecto, que involucran componentes Allen Bradley se realizan mediante RsLinxs Classic.

### 2.3.1. FactoryTalk View Studio

FactoryTalk View Studio es un software de Rockwell para el desarrollo y pruebas de aplicaciones HMI, en conjunto con FactoryTalk View Machine Edition se obtienen aplicaciones muy útiles a nivel máquina - operario [7].

El software posee una interfaz gráfica bastante sencilla, esta se muestra en la figura 2.9. En la parte superior, señalada con el número 1, aparece el menú con un conjunto de accesos rápidos, guardar, correr aplicaciones; también aparecen botones destinados al acomodo de elementos en las pantallas creadas como alinear, enviar al fondo, traer al frente, acercar, entre otros.



**Figura 2.9:** Interfaz del software Factory Talk Studio. Fuente: Elaboración propia

Ligeramente más abajo, señalado con el número 2, está el menú de objetos el cual se utiliza para la creación de los elementos que van a aparecer en cada una de las pantallas que se quieran crear. Botones momentáneos, presionados, displays numéricos, listas y quizás uno de los más importantes el Symbol Factory.

Con Symbol Factory se tiene acceso a una librería llena de plantillas para la representación

de infinidad de elementos presentes en industrias entre ellos: tuberías, tanques, motores, vehículos, cintas transportadoras, entre otros. El uso de estas plantillas permite ahorrar tiempo en el diseño de las pantallas.

Finalmente con el número 3 se señala el árbol del programa, en este es posible ajustar las configuraciones del proyecto, agregar opciones de seguridad a las pantallas, observar la lista de pantallas, las comunicaciones y el diccionario de tags.

Un tag corresponde a una etiqueta, las etiquetas se asignan a aquellos íconos o elementos de las pantallas cuyo estado o valor puede variar. En [6] se define de manera más concreta como un nombre lógico para una variable en un dispositivo o en memoria local (RAM) y que podría ser por ejemplo una variable de proceso en un PLC.

Los tags en FactoryTalk pueden separarse de acuerdo a su fuente en dos categorías:

1. Dispositivo (Device): Estos pueden provenir de cualquier otro dispositivo conectado, un PLC por ejemplo. Requieren agregar la dirección en memoria de la variable en cuestión.
2. Memoria (Memory): La información proviene de la memoria interna de la pantalla.

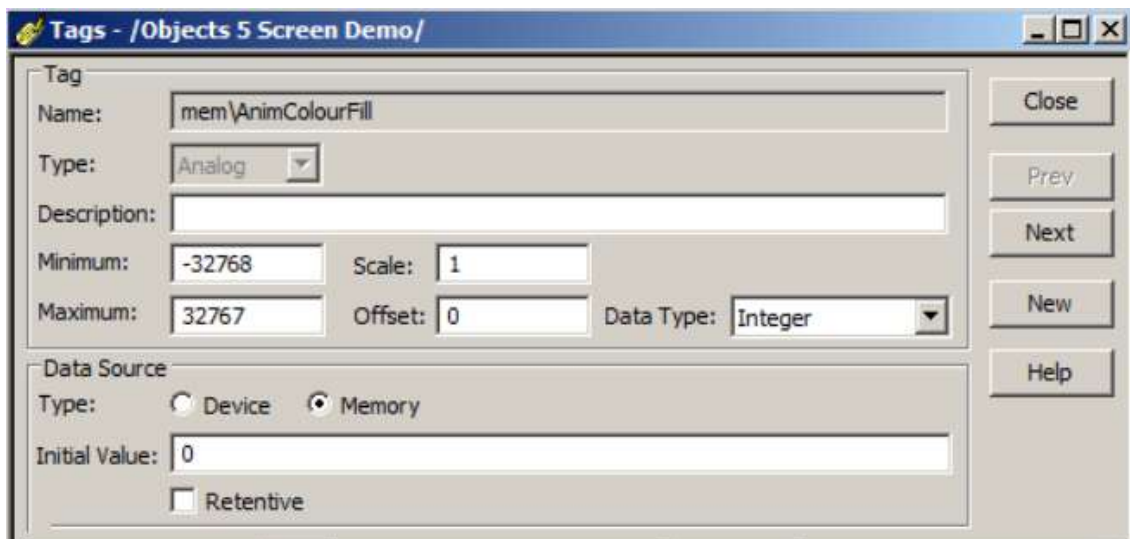
Y estos a su vez pueden clasificarse de acuerdo a la información que contienen en las siguientes categorías:

1. Analógicas (Analog): Se usa para datos numéricos, pueden ser enteros o flotantes. Por ejemplo datos provenientes de sensores de nivel, temperatura, etc.
2. Digitales (Digital): Datos binarios 0 o 1, por ejemplo de entradas o salidas digitales.
3. Cadenas de texto (String): Series de caracteres o palabras hasta máximo 82 caracteres. Se usan para representar dispositivos que utilizan texto.
4. Sistema (System): Información que se crea cuando el sistema está corriendo como los usuarios, fecha y hora.

En la figura 2.10 se muestra el detalle de la ventana de edición de tags, en esta se selecciona el tipo de tag que se requiera según sea el caso.

La mayor parte de los tags que se crean van vinculados con una variable del PLC, permitiendo la monitorización del proceso que este controla. Existen objetos como los botones, que al vincularse con tags que a su vez están vinculados con salidas del PLC, no solo permiten la visualización del estado sino la modificación del mismo.

Las animaciones de objetos permiten modificar ciertas características de los íconos creados de acuerdo con el valor en un momento dado de un tag; rotación, color, desplazamiento, visibilidad, son solo algunas de las animaciones que se pueden lograr en el software.



**Figura 2.10:** Ventana de tags en Factory Talk Studio. Fuente: [6]

Otros elementos como los indicadores multiestado simplifican animaciones como las de visibilidad. Por ejemplo se tiene una bombilla vinculada con un sensor, cuando está activo se torna de color verde y cuando está inactivo de color rojo; con este tipo de indicador se puede lograr la animación sin la necesidad de programar cada paso individualmente, simplemente se coloca en el estado 0 la bombilla roja y en el estado 1 la bombilla verde.

## 2.4. Neumática

De acuerdo con [12] cuando se habla de neumática se está refiriendo a la tecnología que utiliza el aire comprimido como medio transmisor de energía. La energía, generada en un emplazamiento lejano, es transmitida a través de una línea y utilizada localmente por actuadores, motores y otros elementos de trabajo, para realizar una determinada función.

Las instalaciones neumáticas requieren de componentes en sus diferentes etapas para la producción y distribución del aire, así como de válvulas y actuadores que responden a una lógica de control.

Para el entendimiento del proyecto basta con un conocimiento básico de válvulas de distribución y algunos actuadores neumáticos.

### 2.4.1. Válvulas de distribución neumáticas

Las válvulas de distribución son componentes que permiten dirigir la energía en una red neumática hacia ciertas vías de acuerdo a una lógica o señal de control.

Se pueden clasificar de acuerdo a varias categorías, entre ellas el tipo de mando y la función.

#### Válvulas según el tipo de mando

El cambio de estado de la válvula se logra a través de diferentes tipos de mecanismos que pueden ser manuales como pulsadores, levas, rodillos; mecánicos como resortes; eléctricos como los solenoides o neumáticos.

En la figura 2.11 se muestran algunos ejemplos de mandos en las válvulas de distribución y su representación.

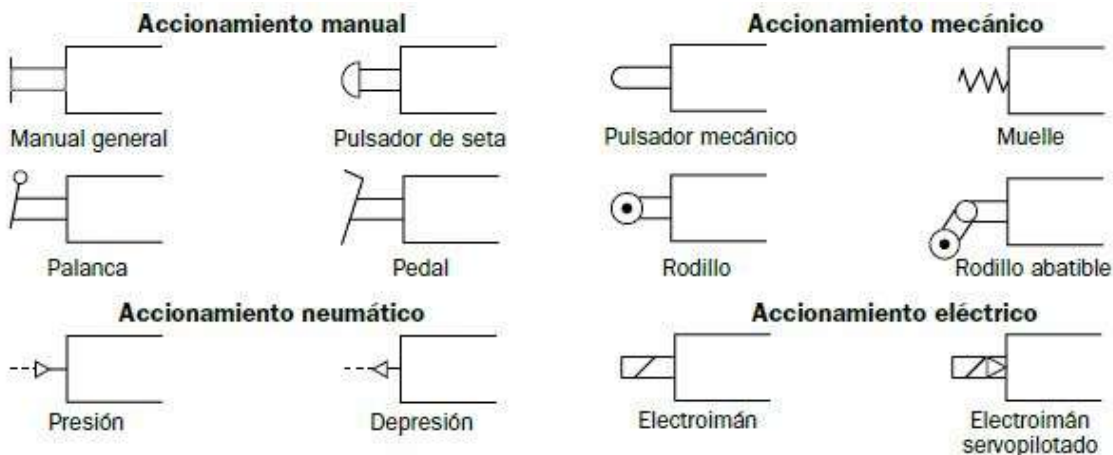


Figura 2.11: Tipos de mando en válvulas de distribución. Fuente: [13]

## Válvulas según su funcionamiento

El funcionamiento de las válvulas es determinado por la cantidad de vías y posiciones que posee. Las vías corresponden a la cantidad de entradas, salidas y descargas de aire; mientras que las posiciones corresponden a la cantidad de maneras que posee para conectar dichas vías.

La figura 2.12 ejemplifica de manera mas clara lo dicho en el párrafo anterior, las posiciones se representan simbólicamente mediante cuadros como en la parte superior de la imagen.

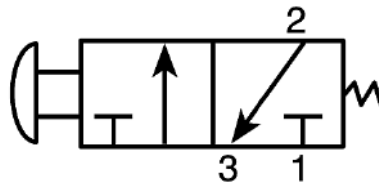


**Figura 2.12:** Vías y posiciones en válvulas de distribución. Fuente: [13]

En la nomenclatura utilizada para designar las válvulas se menciona de primero la cantidad de vías, seguida de la cantidad de posiciones, posteriormente el funcionamiento en reposo si procede (normalmente abierta o cerrada) y finalmente los tipos de mando que modifican las posiciones.

La función de una válvula puede ser monoestable o biestable, monoestable hace referencia a que solo posee una posición de reposo estable, es decir, que cuando el mando no está siendo accionado esta regresa a su posición estable (generalmente mediante muelles de retorno). La función biestable implica que la válvula no posee una posición preferencial, su posición final la dicta el último mando que fue accionado.

En la figura 2.13 se observa un ejemplo de la representación de una válvula, la nomenclatura de la misma correspondería a una válvula de 3 vías y 2 posiciones, normalmente cerrada, accionada por pulsador y monoestable debido a que posee un resorte que la retorna a su posición de reposo.



**Figura 2.13:** Ejemplo de representación de válvula. Fuente: Elaboración propia

En la figura 2.14 se muestran más ejemplos de representación y denominación de válvulas.

Denominación	Símbolo
Válvula de 3/2 vías accionada por pulsador, normalmente cerrada	
Válvula de 3/2 vías accionada por pulsador, normalmente abierta	
Válvula de 5/2 vías con interruptor selector	
Válvula de 3/2 vías con interruptor selector, normalmente cerrada	
Válvula de 3/2 vías accionada por rodillo, normalmente cerrada	
Detector de proximidad neumático	
Válvula neumática de 3/2 vías, normalmente cerrada	
Válvula neumática de 5/2 vías	
Válvula neumática biestable de 5/2 vías	

Figura 2.14: Ejemplos de representación de válvulas. Fuente: [20]

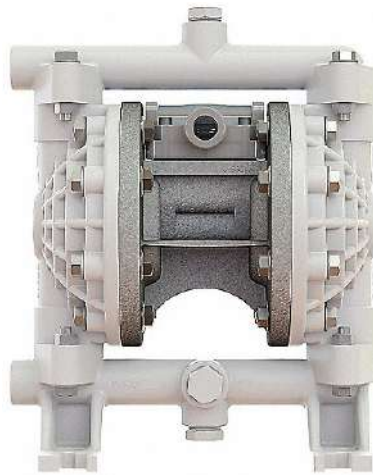
### 2.4.2. Actuadores neumáticos

Un actuador neumático es un componente que transforma la energía almacenada en el aire comprimido en trabajo, los actuadores pueden transformar la energía en movimiento lineal o en movimiento rotativo.

#### Bombas neumáticas

Las bombas neumáticas, figura 2.15, son actuadores que convierten la energía en movimiento rotativo, dicho movimiento se utiliza para el bombeo de fluidos. Una de las principales ventajas de su uso corresponde a que no requiere electricidad, generalmente están fabricadas en diferentes tipos de polímeros lo que las hace ideales para el bombeo de líquidos corrosivos, ácidos, disolventes,...





**Figura 2.15:** Bomba neumática de doble diafragma. Fuente: [17]

### **Válvula de mariposa electroneumática**

Es un actuador utilizado para interrumpir o regular el paso de un fluido en una tubería, mediante una placa a la que se le conoce como mariposa y de acuerdo a una señal de control eléctrica.

Se puede descomponer en 3 partes: una válvula de distribución electroneumática que se encarga del manejo de las señales, un cilindro rotativo y la sección de la mariposa que va acoplada al final del cilindro para la apertura y cierre de la válvula.

En secciones posteriores se muestran más detalles de este tipo de componentes.

## 2.5. Sensores

Un transductor de acuerdo con [10] es un dispositivo que se encarga de convertir una variable física (presión, humedad, fuerza, capacitancia, inductancia) en otra.

De acuerdo con la definición en el párrafo anterior un sensor corresponde a un transductor que permite medir una variable física de interés y convertirla, generalmente, en una señal eléctrica para su posterior manipulación.

Los sensores se pueden clasificar de acuerdo a la señal de salida como:

1. Analógicos: cuando la señal de salida es continua en el tiempo. Pueden ser por ejemplo potenciómetros, termistores, LDR's, entre otros.
2. Digitales: cuando la señal de salida está discretizada. Algunos ejemplos de sensores digitales son los encoders, ultrasónicos, entre otros.

Algunas de las magnitudes de medición más comunes y que a su vez se pueden utilizar como mecanismo de clasificación son:

- Posición lineal y angular
- Desplazamiento y deformación
- Velocidad lineal y angular
- Aceleración
- Fuerza y par
- Presión
- Caudal
- Temperatura
- Proximidad
- Acidez
- Luz
- Presencia - Ausencia
- Nivel

En Planta Cristal el nivel de líquido en tanques de almacenamiento, corresponde a una de las variables que se miden con más frecuencia.

### 2.5.1. Sensores de nivel

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que se encarga de medir la altura del material dentro de un tanque o recipiente; se usan generalmente para la medición de líquido aunque funcionan para ciertos tipos de sólidos.

Se pueden dividir en varias categorías entre ellas:

- Binarios: permiten determinar si el nivel del material ha alcanzado o no cierto punto, usualmente se utilizan para detectar sobre o bajo nivel. Las boyas son un ejemplo de sensor puntual.
- Contínuos: son capaces de devolver una medición contínua para un rango determinado, dado por las características del sensor. Cualquier sensor analógico de nivel entra en esta categoría.
- Con contacto: requieren interactuar directamente con el fluido para obtener una medición, por ejemplo las sondas capacitivas.
- Sin contacto: no requieren un contacto directo para realizar la medición, un buen ejemplo son los ultrasónicos.
- Medición directa: obtienen un valor de altura del fluido directamente.
- Medición indirecta: obtienen una medición de otra variable, como la presión, y a partir de las características del fluido se obtiene la altura.

De particular importancia para el proyecto son la sonda capacitiva y las boyas de nivel, en la sección 3.4 se detallan las características de los sensores utilizados.



# Capítulo 3

## Automatización del proceso de clorado del agua

### 3.1. Análisis del proceso de clorado existente y la forma en que se logra la concentración deseada de cloro en el agua utilizada en la planta

Planta Cristal posee dos fuentes principales de agua para suministrar el líquido a las líneas de producción y demás espacios de la planta donde se requiere. La primera proviene del manantial y aporta unos 1420 l/min, mientras que la segunda proviene de pozos que son capaces de entregar unos 1500 l/min aproximadamente.

Dichas fuentes de agua reciben una dosificación de Hipoclorito de Sodio y agua, provenientes del cuarto de cloro, para posteriormente seguir su camino hacia el resto de la planta.

El cuarto de dosificación de cloro cuenta inicialmente con:

1. Una entrada de agua proveniente del manantial o los pozos.
2. Dos salidas de agua, una para la tubería del agua proveniente del manantial y otra para la tubería del agua de los pozos.
3. Un tanque destinado para la mezcla de agua e Hipoclorito de Sodio de aproximadamente unos 1300 l.
4. Tanques de Hipoclorito de Sodio al 12 por ciento con un peso de 240 kg, los cuales se cambian conforme se gastan.
5. Toma de aire a 7 Bar de presión y regulador.
6. Una bomba neumática para la extracción del Sodio y posterior inyección al tanque destinado para la mezcla.

7. Dos llaves de paso o válvulas, una para la entrada de agua y otra para la entrada de aire.
8. Dos bombas con dosificador manual para la inyección de mezcla a las tuberías del manantial y los pozos.
9. Alimentación eléctrica a 120 V.

En la figura 3.1 se muestra el detalle del cuarto de dosificación antes de la automatización.



**Figura 3.1:** Detalle de los elementos disponibles en el cuarto de dosificación de cloro. Fuente: Elaboración propia

A pesar de contar con algunos de los elementos necesarios para automatizar el proceso, el mismo se realiza de forma completamente manual. La planta trabaja con turnos de 8 horas y durante el inicio de cada jornada algún colaborador, de la sección de Calderas específicamente, debe desplazarse al cuarto de dosificación de cloro para realizar el proceso de clorado.

Dicho proceso consiste en la apertura manual de las válvulas de agua y aire para dar inicio al llenado del tanque de mezcla. Una vez alcanzado el nivel de mezcla deseado, unos 5 cm abajo del punto de rebalse, se procede a cerrar las válvulas. Cabe destacar que el proceso de llenado por el tamaño del tanque, el caudal de entrada de agua y de cloro tarda unos 2 minutos en completarse.

El personal de control de calidad toma muestras de la concentración de cloro en el agua, que se dirige a los procesos, cada 3 - 5 horas y si no se encuentra en los rangos de 3 - 5 ppm el encargado de la dosificación de cloro durante la jornada, debe desplazarse nuevamente al cuarto de cloro para ajustar según sea necesario.

El proceso para lograr la concentración deseada de cloro depende de varios aspectos entre ellos:

1. Caudal instantáneo de las fuentes principales de agua, las cuales están sujetas a cambios por las condiciones ambientales y climatológicas.
2. Caudal y tiempo de apertura de la válvula de agua.
3. Caudal de Hipoclorito de Sodio y tiempo de apertura de la válvula de aire.
4. Dosificación de las bombas encargadas de enviar la mezcla a las tuberías.

De manera empírica los encargados del proceso han determinado que abriendo ambas válvulas de paso de agua y aire a máxima capacidad, hasta llenar el tanque de mezcla y con las bombas de dosificación encendidas se logra la concentración deseada.

La tubería de entrada de agua es de 2 pulgadas y la de entrada de cloro al tanque de mezcla es de 3/4 de pulgada. La bomba neumática está conectada a un regulador de presión a aproximadamente 40 PSI, cualquier modificación en esta presión incide directamente en la cantidad de cloro que es inyectado.

El ajuste para lograr la dosificación en las bombas se realiza girando el elemento que se muestra en la figura 3.2; sin embargo, para las condiciones presentes durante la ejecución del proyecto se mantuvo tal y como aparece.



**Figura 3.2:** Detalle del elemento encargado de la dosificación de las bombas de inyección de mezcla. Fuente: Elaboración propia

Para realizar la automatización del proceso en términos de la concentración de cloro deseada, manteniendo las condiciones actuales de funcionamiento, solo requiere de la apertura y clausura simultánea de las válvulas de control de flujos. Es decir sustituyendo las válvulas manuales por electroválvulas controladas remotamente desde el PLC y el cuarto de control es posible cumplir con la misma tarea pero de manera automatizada.

## 3.2. Requerimientos del sistema

1. Utilizar el PLC SLC 500 5/05 y la pantalla PanelView 1000 Plus disponibles en la sección de Calderas para la visualización y control.
2. El sistema debe contar con modo automático y manual para el control de las electroválvulas. El modo manual debe permitir el control individual de cada válvula si es necesario.
3. Las pantallas diseñadas deben seguir el mismo formato de las que ya están en uso, tanto en apariencia como funcionamiento.
4. A partir del último programa en escalera cargado en el PLC se deben realizar las modificaciones necesarias para la sección de cloro. Dicha sección debe respetar el formato del programa original.
5. Todos los sensores utilizados en el cuarto de dosificación de cloro deben visualizarse en la pantalla de alguna manera.
6. Canalizaciones y cualquier instalación eléctrica realizada debe seguir la misma línea de lo que ya existe.
7. Utilizar los módulos de entradas, módulos de salidas y fuente de 24 V presentes en el panel 2.
8. Los sensores y válvulas seleccionadas deben funcionar a 24 VDC.
9. El tanque de mezcla debe contar con una sonda de nivel analógica de 4-20 mA, de al menos 0,6 metros y un sensor para detectar el sobre nivel de agua.
10. El tanque de cloro debe contar con un sensor para determinar cuando el nivel es muy bajo.
11. La electroválvula seleccionada para el control de flujo del agua debe contar con sensores de posición.
12. Se debe usar la bomba neumática presente en la automatización.
13. Se deben presentar alarmas en la pantalla, ubicada en el cuarto de control de calderas, cuando se use el modo manual, cuando el nivel de cloro sea bajo o cuando exista un sobre nivel en el tanque de mezcla.
14. El sistema debe contar con un paro de emergencia automático en caso de rebalse.
15. El cable que viaja del panel 2 al panel del cuarto de dosificación debe poseer al menos 15 metros más de la longitud requerida, debido a que dicho cuarto de cloro será movido en los próximos meses.



### 3.3. Análisis de elementos I/O requeridos para la automatización

Con base en los requerimientos del proyecto se plantean las tablas 3.1 y 3.2

**Tabla 3.1:** Análisis de entradas y salidas requeridas en los módulos del panel 2. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Digital	Analógico	Entrada	Salida
Sonda nivel		1	1	
Sensor rebalse	1		1	
Posición 1 electrov. agua	1		1	
Posición 2 electrov. agua	1		1	
Sensor de nivel cloro	1		1	
Electroválvula agua	1			1
Electroválvula aire	1			1
<b>Total</b>	6	1	5	2

**Tabla 3.2:** Resumen de entradas y salidas requeridas en los módulos del panel 2. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Cantidad
<b>Entradas digitales</b>	4
<b>Entradas analógicas</b>	1
<b>Salidas digitales</b>	2
<b>Total</b>	7

El panel 2 como se muestra en la figura 3.3 cuenta con un módulo Flex I/O 1794-IB16 de Allen Bradley de 16 entradas digitales en la posición 1, un módulo Flex I/O 1974-OB16 de 16 salidas digitales en la posición dos, un segundo módulo de entradas digitales ubicado en la posición 3 y finalmente un módulo analógico Flex I/O 1794-IE8 en la posición 4.

Al realizar la inspección de los módulos, para determinar si cuentan con los suficientes espacios libres en entradas y salidas, se determina que no hay suficientes entradas digitales disponibles para cumplir con los requerimientos.

Se consideran 2 opciones para solucionar dicho problema, la primera consiste en agregar un tercer módulo de entradas digitales; sin embargo, dicha solución aumentaría los costos del proyecto. La segunda corresponde a realizar una revisión del proceso y determinar si existen entradas que no se estén usando a pesar de estar cableadas.

La decisión obvia representa hacer la revisión del proceso y en caso de no encontrar nada desocupado se procede a realizar la compra del módulo requerido. Al inspeccionar



**Figura 3.3:** Detalle de los elementos presentes en el panel 2. Fuente: Elaboración propia

el proceso, en conjunto con colaboradores de la empresa, se encuentra que una sección destinada a Soda Cáustica fue eliminada y estaba utilizando al menos 6 entradas digitales

del módulo ubicado en la posición 3.

Con la liberación de dichos espacios en las entradas finalmente se cuenta con todos los elementos necesarios para la programación en el PLC SLC 500 de los sensores y actuadores requeridos.

### 3.4. Selección y adaptación de sensores y actuadores en el cuarto de dosificación

Un objetivo de todo proyecto es mantener los costos al mínimo cumpliendo con todos los requerimientos y este no es la excepción. Actualmente Planta Cristal se encuentra en proceso de remodelación y expansión, lo que representa una oportunidad para adquirir los componentes necesarios de secciones que se están eliminando y así disminuir los gastos.

En total el proyecto requiere de 5 componentes entre sensores y actuadores, de los cuales solo existe la necesidad de comprar 2 que de paso corresponden a los de menor costo.

Para el control de flujo de agua proveniente de las entradas se seleccionó la válvula de mariposa, normalmente cerrada, mostrada en la figura 3.4 . En la parte superior de la válvula se encuentra la unidad de control que se encarga de manejar las señales y el flujo del aire comprimido para la actuación, más adelante se explican en detalle las conexiones requeridas.



**Figura 3.4:** Válvula de mariposa para el control de flujo de agua. Fuente: [19]

La sección circular de la parte inferior corresponde a un elemento que se puede intercambiar dependiendo del diámetro de tubería en el que se quiere regular el paso del fluido.

Debido a que la válvula fue reutilizada de otro proceso donde se regulaba el paso en una tubería de 1 pulgada y la tubería de entrada de agua en el cuarto de cloro es de 2 pulgadas es necesario un acople. Lo ideal corresponde a buscar la sección de la mariposa para una tubería de 2 pulgadas, sin embargo, no fue posible encontrarla por lo que se decidió realizar acoples mediante soldadura.

El acople realizado corresponde a una contracción súbita de 1 pulgada a 2 pulgadas, unida mediante soldadura TIG en acero inoxidable. En la figura 3.5 es posible observar la soldadura antes de la limpieza con ácido para mejorar el acabado.



**Figura 3.5:** Adaptación para acoplar la válvula de control de flujo de agua. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente mediante empaques y clamps se termina de unir la válvula con la tubería de forma que no existan fugas en ninguna sección, en la figura 3.6 se observa el acople final. La ventaja principal de realizar este tipo de uniones no permanentes es la facilidad para el montaje y desmontaje en caso que se requiera algún tipo de mantenimiento.

La electroválvula PS1 - E23 de Parker es seleccionada para el control del flujo de aire hacia la bomba neumática y corresponde a la que aparece en la figura 3.7 es importante aclarar que se trata de la serie PS1E de Parker que son módulos de válvulas.

La electroválvula elegida posee 3 vías y 2 posiciones, es normalmente cerrada y de simple efecto. Su solenoide funciona a 24 V y consume 1,2 W.

Para la instalación de la electroválvula se opta por colocarla en un panel aparte, se requiere la sustitución de los racores de la bomba neumática y el regulador de presión ya que ambos son para manguera de 8 mm mientras que la electroválvula tiene entradas y salidas a 6 mm.

Para la medición de nivel en el tanque de disolución agua - cloro se eligió una sonda de





**Figura 3.6:** Detalle del resultado de la unión de la válvula para el agua. Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.7:** Electroválvula para el control de la bomba neumática. Fuente:Elaboración propia

nivel capacitiva de 60 cm de longitud marca Endress Hauser Multicap T, dicha sonda trabaja con una señal 4...20 mA que es leída por el PLC mediante un módulo analógico. En la figura 3.8 se muestra la sonda utilizada, esta posee la terminal para conexión con Tri - Clamp.

El reto más importante con este sensor está en la adaptación para acoplarlo con el tanque de disolución. La unión debe darle estabilidad al sensor y a su vez debe quedar sellada para que no hayan fugas de agua. El problema radica en que se trata de un tanque de



**Figura 3.8:** Sonda capacitiva de nivel Endress Hauser Multicap T. Fuente: Elaboración propia

polietileno por lo que uniones que pueden asegurar hermeticidad, como las soldaduras, quedan descartadas.

En la figura 3.9 se aprecia en detalle el acople maquinado para la sonda de nivel. Se trata de una junta en acero inoxidable con una sección roscada y con sellos tanto por arriba como por abajo (empaques color negro).



**Figura 3.9:** Detalle de la pieza para el acople de la sonda con el tanque. Fuente: Elaboración propia

Al tanque se le realiza una perforación de 2 pulgadas de diámetro para insertar la parte roscada, luego el anillo o tuerca se inserta y rosca dentro del tanque de forma que el mismo quede entre ambas piezas. La parte superior posee las dimensiones y características para unirse mediante tri - clamp con la sonda, obteniendo una junta rígida y estable que permite un ensamble y desensamble rápido; el empaque blanco en la parte superior garantiza que este último vínculo quede sellado.

Se aprovecha una de las salientes del tanque como punto para realizar la unión, en la figura 3.10 se observa el resultado final.



**Figura 3.10:** Unión final de la sonda con el tanque de mezcla. Fuente: Elaboración propia

El último sensor, usado tanto para detectar sobre nivel en el tanque de mezcla como bajo nivel en el de cloro, corresponde a una boya semejante a la mostrada en la figura 3.11, de manera simplificada se puede ver como un contacto normalmente cerrado que se abre cuando el nivel de un fluido sobrepasa la boya. Se selecciona en acero inoxidable para garantizar la integridad de la misma por largo tiempo bajo las condiciones de funcionamiento.

En el caso del tanque de mezcla se utiliza otra de las salientes para colocar el sensor, dicha saliente se encuentra unos 10 cm arriba de la usada por la sonda pero del lado opuesto. Esto permite que ligeramente por encima del punto máximo de detección de la sonda esté la boya lista para ser accionada en caso de alguna falla.

Se perfora un hueco lo suficientemente grande para insertar la parte roscada de forma que el sensor quede dentro del tanque y mediante la tuerca se sostiene en posición. No se trata de una unión sellada debido a que el sistema está diseñado para parar el llenado antes de alcanzar ese nivel.

Para el tanque de cloro resulta necesaria una adaptación que le permita al sensor quedar



**Figura 3.11:** Boya de nivel. Fuente: [3]

en posición una vez fijado, pero que sea fácil de mover cuando se requiera cambiar el contenedor por uno nuevo.

De manera general lo que se pretende es aumentar la longitud de la varilla acoplándole una extensión en la parte roscada, permitiendo introducir la varilla hasta el fondo del tanque para la detección de bajo nivel de cloro. Dicho acople debe quedar sellado para prevenir daños en la conexión eléctrica del sensor.

En la figura 3.12 se aprecia la extensión, maquinada en acero inoxidable, para soportar la concentración de hipoclorito de sodio. Además cuenta con una tapa que lo sujeta en posición dentro del tanque.



**Figura 3.12:** Acople para boya de nivel. Fuente: Elaboración propia



### 3.5. Conexiones eléctricas y canalizaciones

Todos los componentes utilizados desde el PLC, módulos de entradas y salidas, sensores y actuadores trabajan con señales de 24 V.

Las conexiones eléctricas requeridas por la unidad de control de la válvula de mariposa se observan en la figura 3.13 y se detallan en la tabla 3.3 .



**Figura 3.13:** Unidad de control de la válvula para el agua. Fuente: Elaboración propia

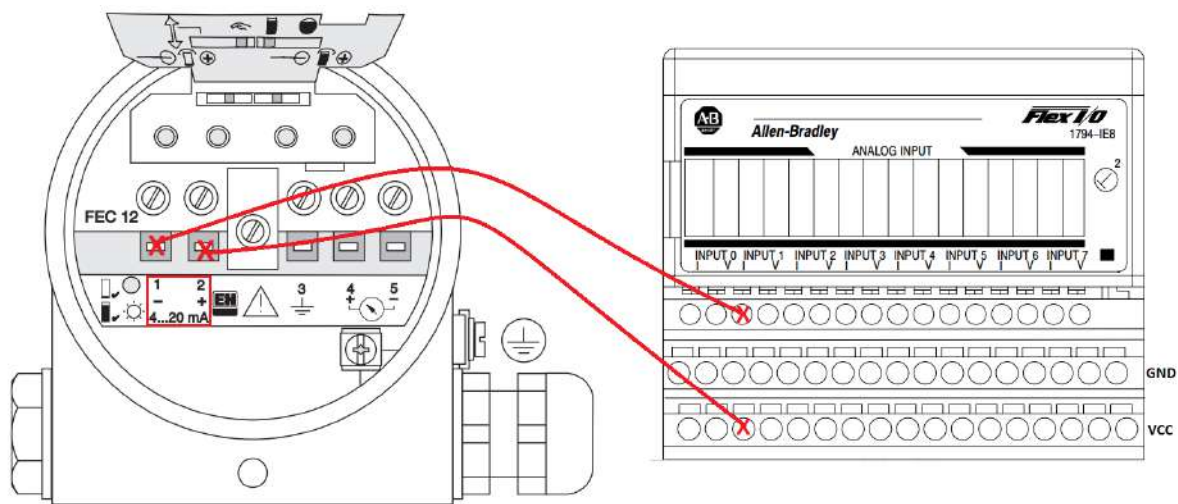
**Tabla 3.3:** Resumen de conexiones en la unidad de control de la válvula de mariposa. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Número	Conexión PLC
Solenoid (Solenoid)	1	Abrir Electroválvula Agua
Solenoid (Solenoid)	2	Referencia (0 V)
Energía (Power)	3	Referencia (0 V)
Energía (Power)	4	VCC (24 V)
No se usa	5	
Válvula cerrada (Upper switch)	6	VCC (24 V)
Válvula cerrada (Upper switch)	7	Electroválvula agua cerrada
Válvula abierta (Lower switch)	8	VCC (24 V)
Válvula abierta (Lower switch)	9	Electroválvula agua abierta
Tierra	10	

La válvula posee la capacidad de trabajar de manera automática, es decir, a través de las señales del PLC o de forma manual girando una pieza con ayuda de un desatornillador plano. De esta forma en caso que se presente alguna falla, el sistema puede trabajar de manera manual como lo venía haciendo.

El cableado se realiza mediante un cable multilínea de 6 líneas que va desde la válvula hasta las borneras en el panel del cuarto de clorado.

El elemento que aparece en la parte superior de la sonda de nivel corresponden a la unidad de control FEC 12, esta se encarga de tomar la medición capacitiva de la sonda y enviar la señal 4...20 mA al módulo analógico. En la figura 3.14 se detalla la conexión de la sonda (en una vista superior sin la tapa de protección y con la tapa de calibración abierta) con el módulo analógico en una vista frontal.



**Figura 3.14:** Unidad de control FEC 12 de la sonda de nivel. Fuente: [11] y [5]

El cableado es bastante sencillo, la sonda solo posee 2 terminales señaladas con los signos + y -, la terminal positiva va a VCC (24 V) del módulo analógico y la negativa a la terminal de corriente de la entrada que se va a utilizar, I:1.5 en este caso que corresponde a INPUT 1 en el módulo.

La electroválvula para el control de la bomba neumática solo requiere de una señal para su funcionamiento, la de abrir, ya que es normalmente cerrada y de simple efecto. No posee finales de carrera, por lo que la conexión eléctrica solo requiere de la referencia en A2 y la señal de salida del PLC (Abrir electroválvula de aire) en A1. En la figura 3.15 se aprecian los puntos donde se debe realizar la conexión.

De igual manera que con la válvula de mariposa para el control del flujo de agua, este componente posee la capacidad de trabajar en manera manual de ser necesario, basta con girar 90 grados (en el sentido de las manecillas del reloj) el elemento amarillo encerrado en el rectángulo rojo para abrirla.

La conexión de las boyas de nivel corresponde a la más sencilla de los elementos utilizados ya que se trabaja como un interruptor; el componente solo posee 2 cables, por lo tanto



**Figura 3.15:** Detalle de conexión de la electroválvula. Fuente: Elaboración propia

para hacer llegar una señal positiva a las entradas del PLC cuando se cierra se requiere conectar una de las puntas a VCC (24V) y la otra a la entrada digital del módulo.

La transmisión de las señales entre el panel 2, mostrado en la figura 3.3 y el panel ubicado en el cuarto de clorado se realiza mediante un cable multilínea de 18 cables, con una longitud de alrededor de 60 metros. La distancia entre dichos paneles es de aproximadamente 30 metros; sin embargo, en los próximos meses la posición del cuarto de clorado se estará alejando en al menos 15 metros, de ahí el exceso de cable.

El detalle de las conexiones en el panel 2 con el cable multilínea se muestra en la tabla 3.4. Los módulos inician la numeración de sus entradas/ salidas siempre en cero.

Del total de 18 líneas solo se utilizan 9, las excedentes como prevista para una expansión del sistema o adición de componentes en el cuarto de cloro. Inicialmente se consideran 11, es decir 2 más correspondientes a los sensores de posición de la electroválvula del aire; la electroválvula que se consigue dentro de la planta no posee sensores de posición, al no modificar el funcionamiento del sistema se utiliza de esta forma. Por esta razón las líneas 3 y 6 del cable multilínea no se utilizan.

**Tabla 3.4:** Resumen de conexiones en el panel 2. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Número en módulo	Número en cable multilínea	Señal
Módulo de entradas digitales	0	1	Válvula agua abierta
Módulo de entradas digitales	1	2	Válvula agua cerrada
Módulo de entradas digitales	4	4	Sobre nivel mezcla
Módulo de entradas digitales	5	5	Bajo nivel cloro
Módulo de entradas analógicas	1	7	Nivel mezcla
Referencia (GND)	-	8	-
Alimentación (24V)	-	9	-
Módulo de salidas digitales	9	10	Abrir válvula agua
Módulo de salidas digitales	10	11	Abrir válvula aire

El cableado dentro del panel del cuarto de clorado corresponde a la llegada del cable multilínea y conexión de las primeras 11 líneas (exceptuando 3 y 6) a un conjunto de borneras, para su conexión con cada uno de los sensores y actuadores ya mencionados.

En Planta Cristal las canalizaciones para cableado eléctrico en exteriores se realizan mediante tubería EMT (tubería eléctrica metálica por sus siglas) que posee una alta resistencia a los golpes y las condiciones ambientales. El formato se debe mantener para el proyecto de automatización, lo que implica la necesidad de realizar una canalización desde la salida del cuarto de bombas, donde está el pánel 2, hasta el pánel del cuarto de clorado.

Por el calibre y cantidad de líneas del cable multilínea, se decide trabajar con tubería y conduletas de 2 pulgadas para evitar que se atore en las curvas.

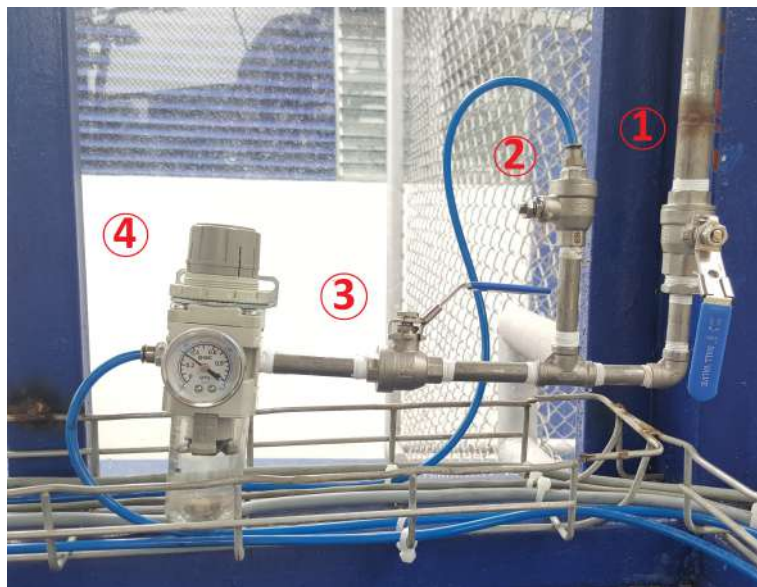
La canalización para el cableado de componentes dentro del cuarto de cloro se realiza sobre canasta metálica para mantener la misma línea del resto de la planta.

### 3.6. Conexiones neumáticas

El cuarto de cloro posee una entrada de aire comprimido con una presión de 7 Bar o 101 PSI aproximadamente. Todos los actuadores del sistema son neumáticos; sin embargo, para funcionar de manera óptima no requieren de la misma presión de aire comprimido.

Como ya se ha mencionado la inyección de cloro mediante la bomba neumática se realiza a una presión de alrededor de 40 PSI y cualquier aumento en esta presión implica un aumento en la cantidad de cloro que se inyecta. El problema inicial corresponde a que la válvula de mariposa requiere de mayor presión, 65 PSI aproximadamente para lograr abrir y cerrar correctamente, lo que implica que estos actuadores se deben de separar de alguna manera.

Para solucionar dicho problema se opta por realizar una bifurcación antes del regulador de aire de manera que la válvula de mariposa reciba toda la presión de aire de la entrada y la bomba neumática siga recibiendo los 40 PSI del regulador. En la figura 3.16 se observa en detalle la configuración en las entradas de aire al sistema.



**Figura 3.16:** Entradas de aire comprimido. Fuente: Elaboración propia

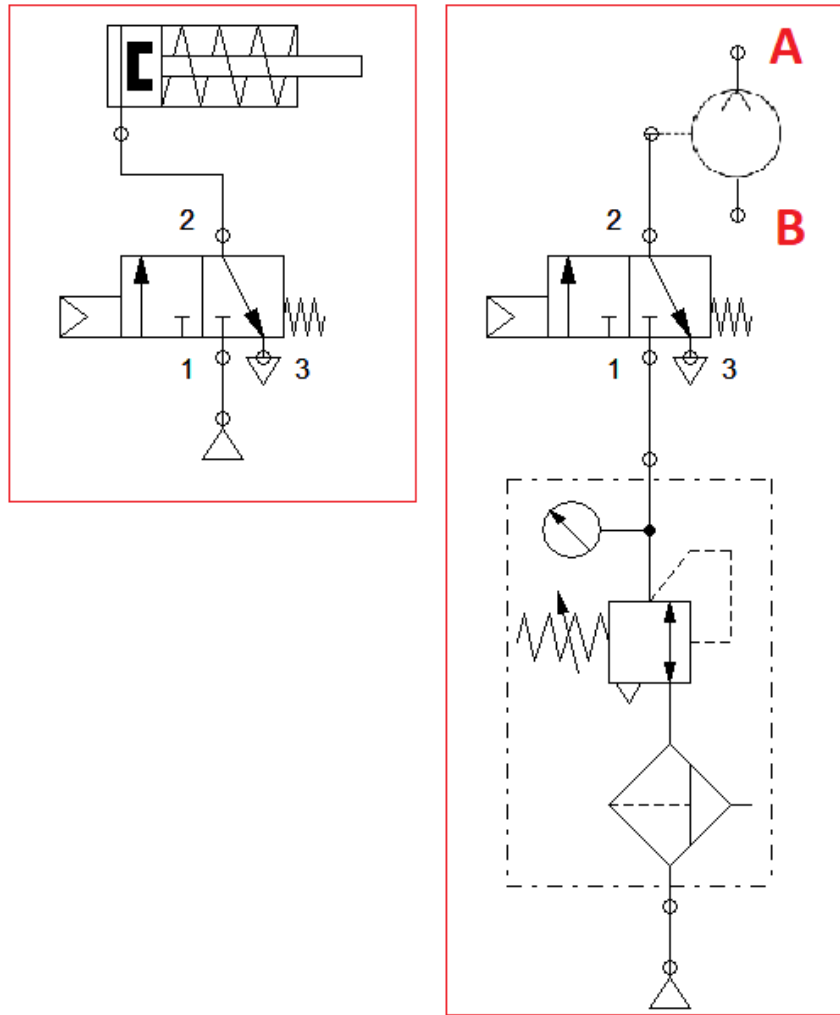
El número 1 en la imagen corresponde a la llave de paso de aire de todo el sistema, el 2 a la llave de paso de aire (siempre abierta) a la válvula de mariposa y el 3 a la llave de paso de aire al regulador que está señalado con el 4, que va a una electroválvula y esta a la bomba neumática.

La configuración mostrada permite abrir o cerrar la entrada de aire de cada actuador individualmente de manera que en caso que se requiera trabajar manualmente, como se realizaba antes de la automatización, sea posible.

Otra ventaja que posee radica en la capacidad de regular la presión de la bomba neumática, de forma que si la tendencia de concentración de cloro en la mezcla, en modo au-

tomático, está alta se puede disminuir la presión y con esto también disminuir la cantidad de cloro que se aporta a la disolución.

En la figura 3.17 se observa la representación de los elementos y conexiones neumáticas del proyecto.



**Figura 3.17:** Diagrama de conexiones neumáticas. Fuente: Elaboración propia con FluidSim

El rectángulo rojo de la izquierda encierra la representación de la válvula de mariposa que controla el flujo del agua, se puede modelar como una válvula 3/2 normalmente cerrada, accionada por solenoide, monoestable y conectada a un cilindro que se encarga de hacer girar la mariposa.

El rectángulo rojo de la derecha encierra todo lo relativo al control de flujo de cloro, mediante la electroválvula y la bomba neumática. El punto A corresponde al tanque de mezcla y el punto B al tanque de hipoclorito de sodio, el cloro fluye a través de la bomba de B a A.



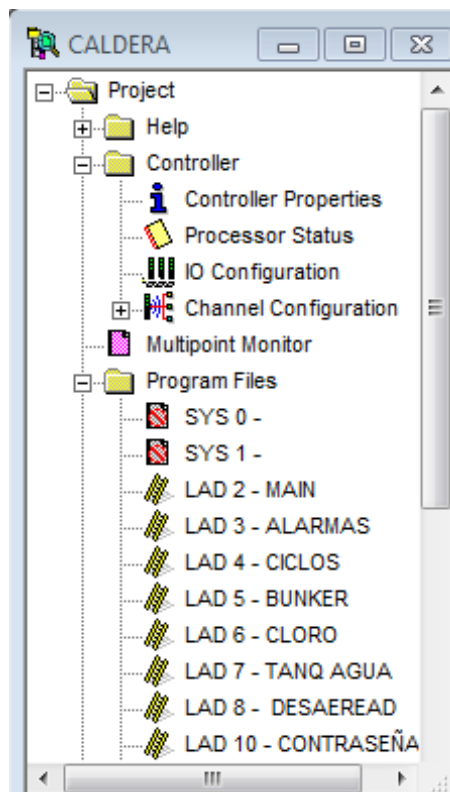
### 3.7. Programación en escalera del PLC

Para el desarrollo de la automatización del proceso se va a utilizar el Autómata Programable SLC 500 5/05 de Allen Bradley, en conjunto con módulos Flex I/O de entradas y salidas comunicados mediante DeviceNet.

Para la programación de los diagramas en escalera se utiliza el software RSLogix 500 y en la comunicación RSLinx Classic, ambos de Allen Bradley.

El programa en escalera requerido no se inicia desde cero sino mas bien se toma el programa que está corriendo en el PLC, es decir el último programa editado y se le agregan las modificaciones necesarias para añadir el proceso de clorado.

Con solo echar un vistazo rápido a los archivos de programa (Program Files) en la figura 3.18 se aprecia que la programación se divide por procesos a través de múltiples escaleras, que corresponden a subrutinas.



**Figura 3.18:** Detalle del árbol de proyecto del programa antes de la automatización del clorado.  
Fuente: Elaboración propia

Al inspeccionar con detalle las subrutinas, con la finalidad de determinar cuáles de ellas requieren ser editadas para añadir todo lo respectivo al clorado, se concluye que MAIN, ALARMAS, CICLOS y SODA deben ser modificadas. La última debido a que como se mencionó en la sección de análisis de entradas y salidas el proceso ya no existe, por lo tanto será sustituido por la nueva sección cuyo nombre es CLORO.

Las modificaciones realizadas en cada una de las subrutinas se detallan en las subsecciones

siguientes.

El primer paso para la programación de las modificaciones es definir las direcciones de memoria para las entradas, salidas y demás elementos requeridos. De acuerdo con los requerimientos del sistema se define la tabla 3.5 para el direccionamiento.

**Tabla 3.5:** Direccionamiento en el PLC. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Dirección	TAGS
Automático Electroválvulas	B3:4/0	AUTOMATICO_ELECTROVALVULAS
HMI Abrir Electrov Agua	B3:4/4	HMI_ABRIR_ELECTROVALVULA_AGUA
HMI Abrir Electrov Aire	B3:4/5	HMI_ABRIR_ELECTROVALVULA_AIRE
Alarma Válvula Agua Manual	N30:19/0	
Alarma Válvula Aire Manual	N30:19/1	
Alarma Bajo Cloro	N30:19/2	ALARMA_BAJO_CLORO
Alarma Sobrenivel Mezcla	N30:19/3	ALARMA_SOBRENIVEL_MEZCLA
(Entero) Nivel Mezcla Cloro	N43:19	
(Flotante) Nivel Mezcla Cloro	F8:1	NIVEL_MEZCLA_CLORO
Nivel Mezcla Cloro	I:1.5	
EV. Agua Abierta	I:1.3/0	ELECTROV_AGUA_ABIERTA
EV. Agua Cerrada	I:1.3/1	ELECTROV_AGUA_CERRADA
Sobrenivel Mezcla Cloro	I:1.3/4	SOBRENIVEL_MEZCLA_CLORO
Nivel Bajo Cloro	I:1.3/5	NIVEL_BAJO_CLORO
Abrir Electroválvula Agua	O:1.2/9	ABRIR_ELECTROVALVULA_AGUA
Abrir Electroválvula Aire	O:1.2/10	ABRIR_ELECTROVALVULA_AIRE

El nombre de los tags se elige de forma que sea fácil de determinar a qué pertenece y el mismo se mantiene para la programación del HMI.

Los primeros 3 elementos de la tabla, con dirección en B3, se utilizan para el control desde la pantalla. En la sección de la programación del HMI y de las modificaciones de CLORO se explica con detalle su uso. Es importante aclarar que el contacto Automático Electroválvulas funciona para el control de modo, es decir, si vale 1 funciona en modo automático y si su valor es 0 corresponde al modo manual.

Las alarmas se destinan a un entero, N30:19 en este caso, dependiendo de su valor en un momento dado aparecen las alarmas en la pantalla.

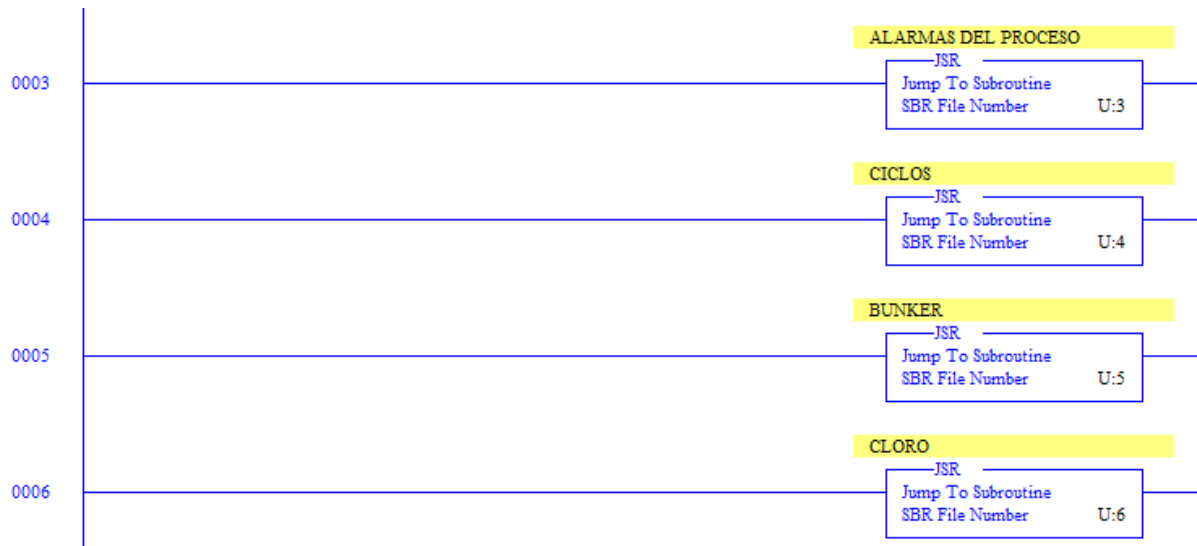
Las entradas digitales tienen dirección a I:1.3 que corresponde al módulo Flex I/O con espacio disponible. La entrada con dirección I:1.5 apunta al módulo analógico en el espacio destinado para el sensor de nivel.

Finalmente las salidas apuntan a O:1.2/9-10 que corresponde al módulo Flex I/O de salidas digitales.



### 3.7.1. Modificaciones en subrutina MAIN

El cambio en esta sección es solamente visual, la sección dedicada a SODA fue renombrada como CLORO en el árbol del programa, por lo tanto, la función Salto a Subrutina (JSR) en la línea 6 ahora tiene en su parte superior el nombre CLORO. En la figura 3.19 se aprecia el cambio mencionado.



**Figura 3.19:** Detalle de la modificación en la subrutina MAIN. Fuente: Elaboración propia

De esta forma el programa es capaz de entrar a la subrutina de CLORO y ejecutar el diagrama dentro de él.

### 3.7.2. Modificaciones en subrutina ALARMAS

La subrutina 3 está completamente dedicada a establecer las alarmas para los diferentes procesos que controla el PLC. Se utiliza el entero N30:19 para almacenar la información de las mismas para su posterior visualización en el Panel View, en la figura 3.20 se aprecia la lógica detrás del control de las alarmas.

Los sensores de las líneas 30 y 31 son boyas exactamente iguales, por lo tanto se activan de la misma forma; sin embargo uno debe medir sobre nivel y el otro falta de nivel, de ahí la aparición del contacto normalmente cerrado para la boya de sobre nivel de mezcla.

Para la aparición de alarmas cuando se activa el modo manual y se abre alguna electroválvula se utiliza la línea 32. La válvula para el agua posee sensores para determinar si la misma está cerrada o abierta mientras que la encargada del aire no, de ahí que solo en la parte superior aparezca el contacto EV. Agua Abierta.

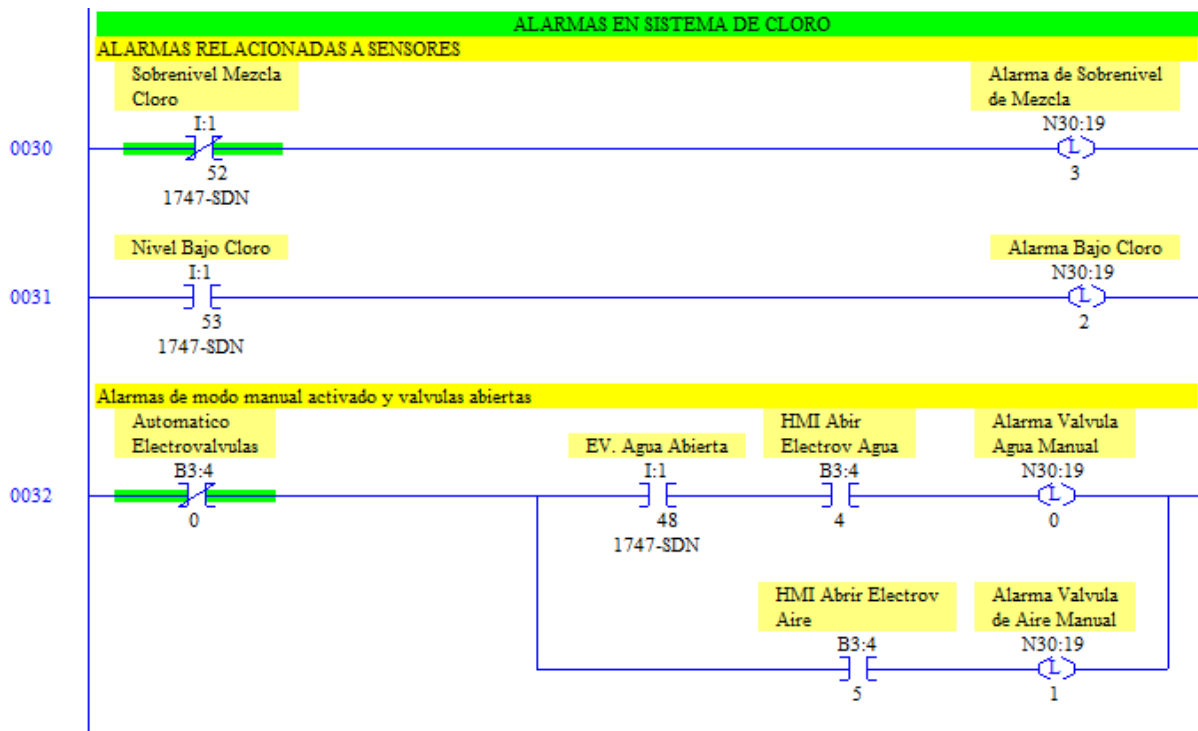


Figura 3.20: Lógica de encendido de alarmas en el PLC. Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3. Modificaciones en subrutina CICLOS

La subrutina de ciclos contiene diagramas en escalera dedicados al reset de alarmas de los diferentes procesos que controla el PLC. En la figura 3.21 se muestra la adición de una nueva línea encargada de resetear las alarmas en el sistema de Cloro.

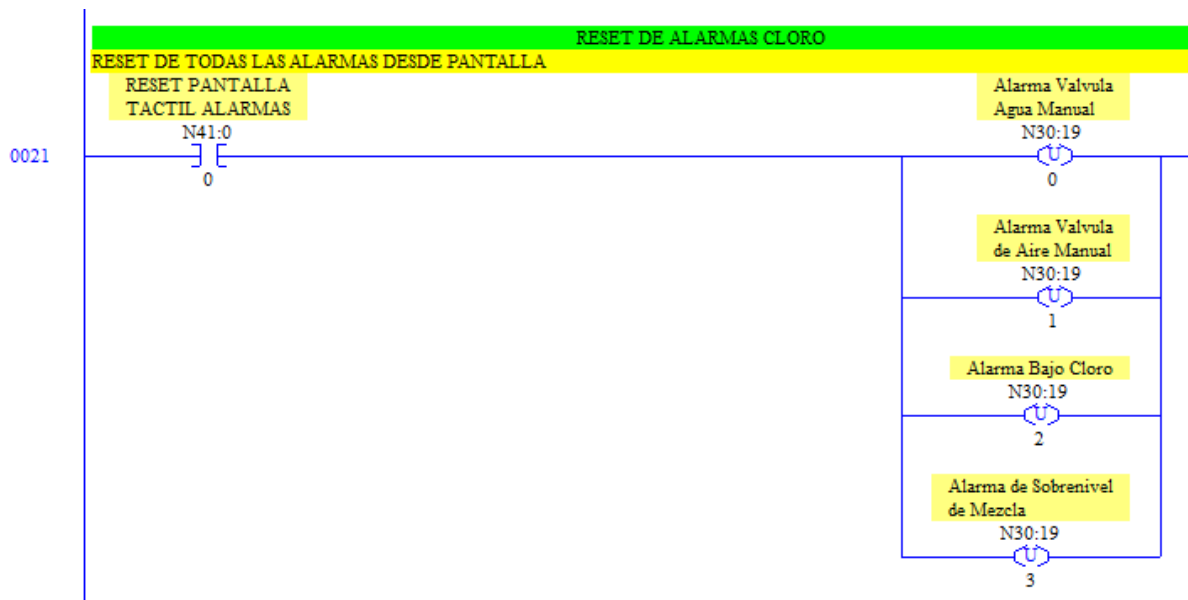


Figura 3.21: Reset de Alarmas en subrutina CICLOS. Fuente: Elaboración propia

El contacto N41:0/0 llamado RESET PANTALLA TACTIL ALARMAS está vinculado

con un botón en el HMI que se encarga de resetear ciertas alarmas, este contacto no se menciona en la tabla 3.5 debido a que ya formaba parte del programa. En este caso para mantener la misma línea del código se utiliza dicho contacto para producir el reset (unlatch) de los espacios en memoria en N30:19.

### 3.7.4. Modificaciones en subrutina CLORO

La subrutina a cargo del manejo del proceso de clorado se realiza desde cero. Las líneas 0 y 1 están dedicadas al control en modo manual de la apertura y clausura de las electroválvulas encargadas del paso del agua y cloro al tanque de mezcla. En la figura 3.22 y la figura 3.23 aparece la lógica de control de las electroválvulas.

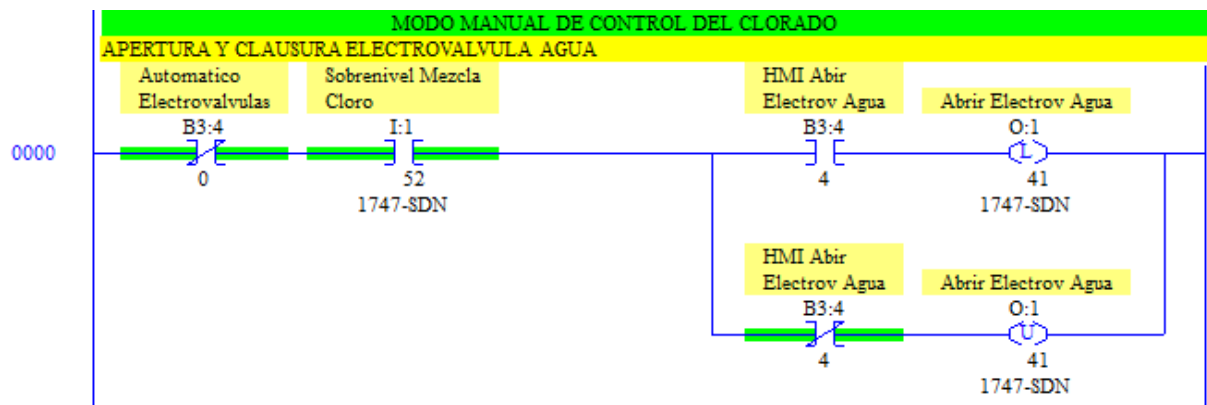


Figura 3.22: Control manual de electroválvula de agua. Fuente: Elaboración propia

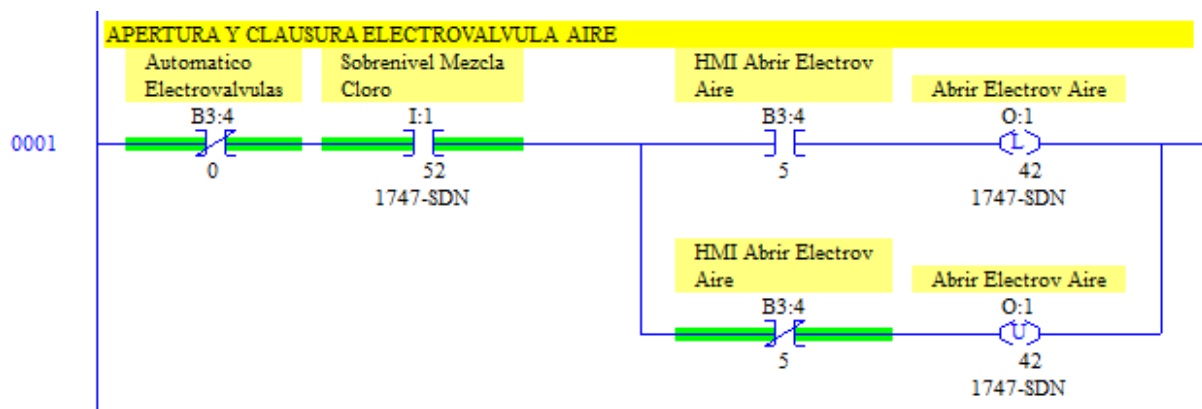
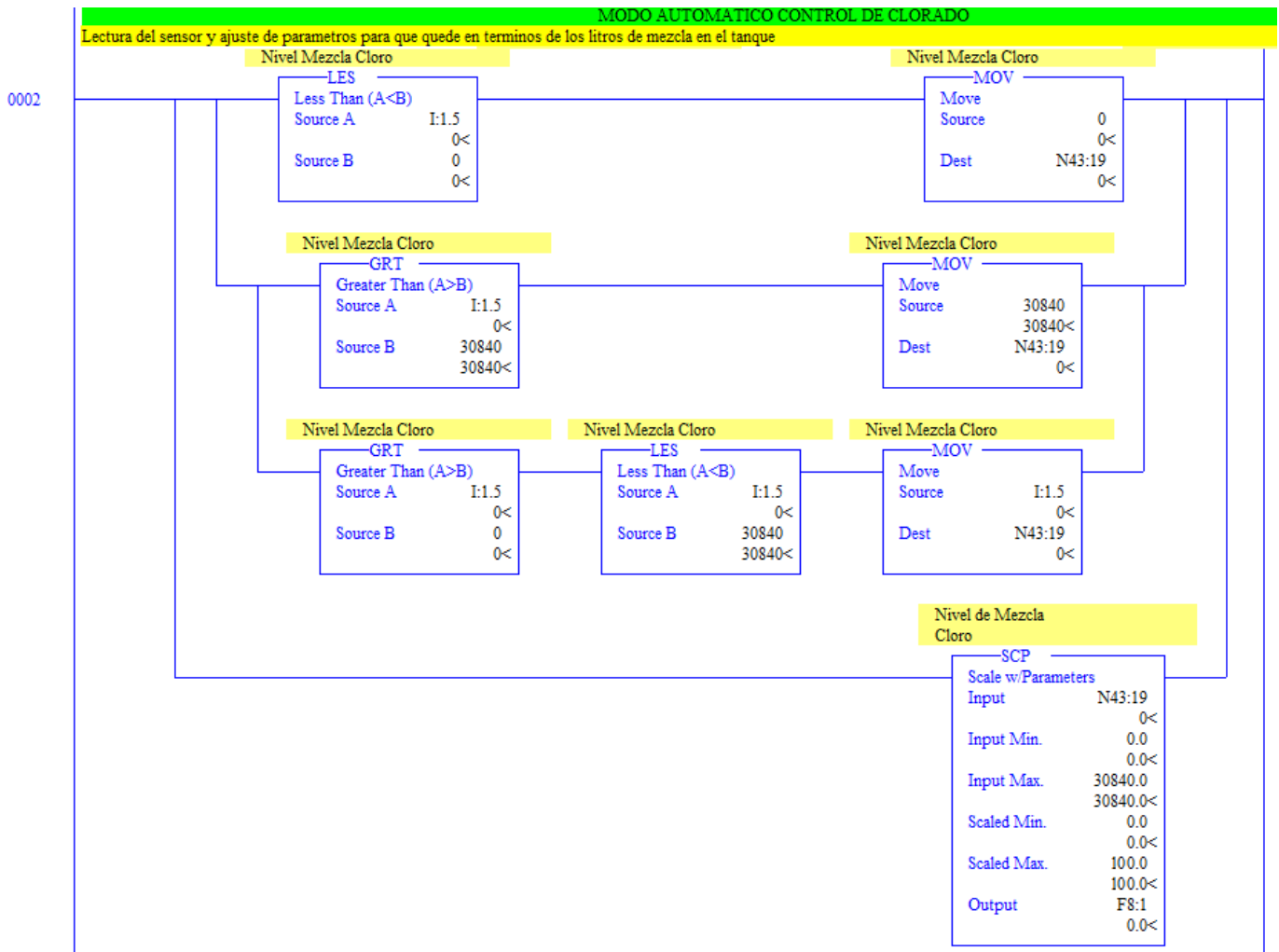


Figura 3.23: Control manual de electroválvula de aire. Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia aparece un contacto normalmente cerrado de Automático Electroválvulas y uno normalmente abierto de Sobrenivel Mezcla Cloro; el primero permite el control en modo manual mientras que el segundo imposibilita la apertura de cualquiera de las válvulas si el tanque presenta sobrenivel.

Posteriormente los contactos de HMI Abrir Electrovalv Agua-Aire se encargan de realizar el set y reset de las salidas que controlan la apertura de las electroválvulas.

En la línea 2 de la figura 3.24 se inicia con la programación del modo automático de control del sistema de clorado, específicamente con la lectura del sensor analógico de nivel en la entrada I:1.5.

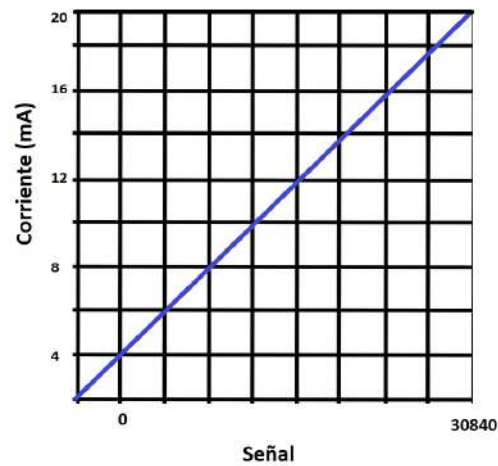


**Figura 3.24:** Lectura del sensor de nivel y ajuste de parámetros. Fuente: Elaboración propia

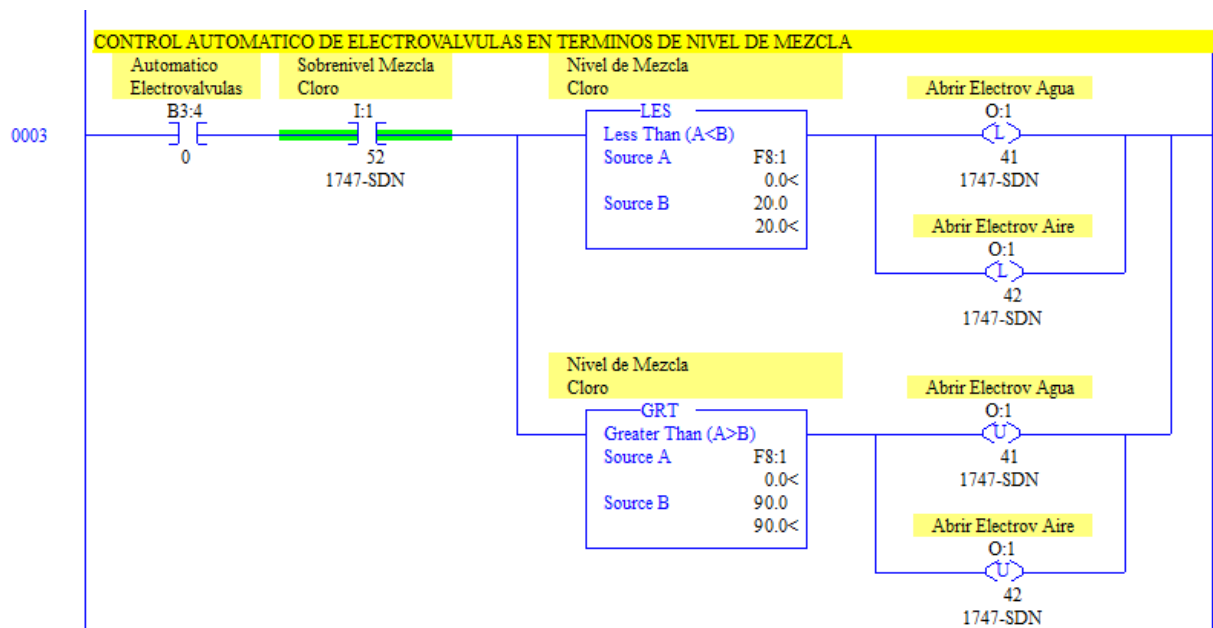
El módulo analógico utilizado cuando recibe la señal más pequeña, es decir 4 mA, la convierte en un valor de 0 y cuando recibe los 20 mA la convierte en 30840, en la figura 3.25 se observa dicha conversión.

El valor entre 0 y 30840 se guarda en el entero N43:19 para su uso en la función de escalado de parámetros (SCP), donde se escala a un valor entre 0 y 100 que corresponde a aproximadamente el porcentaje del tanque que está lleno en un momento dado. El resultado del escalamiento se guarda como flotante en la dirección F8:1 para el control y su posterior visualización en la pantalla.

La línea 3 de la subrutina de CLORO se encarga del control del sistema de manera automática en términos del porcentaje de llenado que posee el tanque de mezcla. En la figura 3.26 se detalla la lógica.



**Figura 3.25:** Conversión de lectura analógica por parte del módulo Flex I/O 1794-IE8. Fuente: Elaboración propia

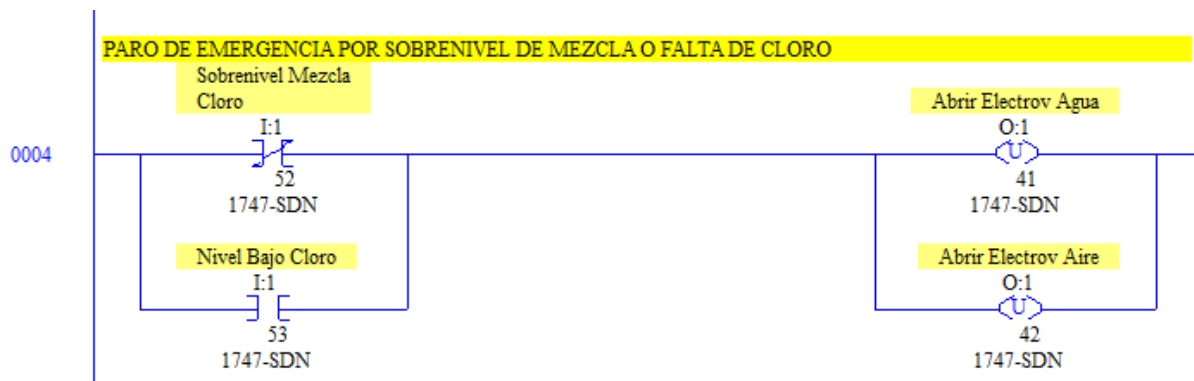


**Figura 3.26:** Control en modo automático de las electroválvulas. Fuente: Elaboración propia

Con el contacto normalmente abierto de Automatico Electrovalvulas se garantiza que el resto de condiciones se puedan dar solamente cuando se selecciona el modo automático en la pantalla. Si la cantidad de agua en un momento dado es inferior a los 20 por ciento del tanque se realiza la apertura de las electroválvulas y si es superior al 90 por ciento se cierran.

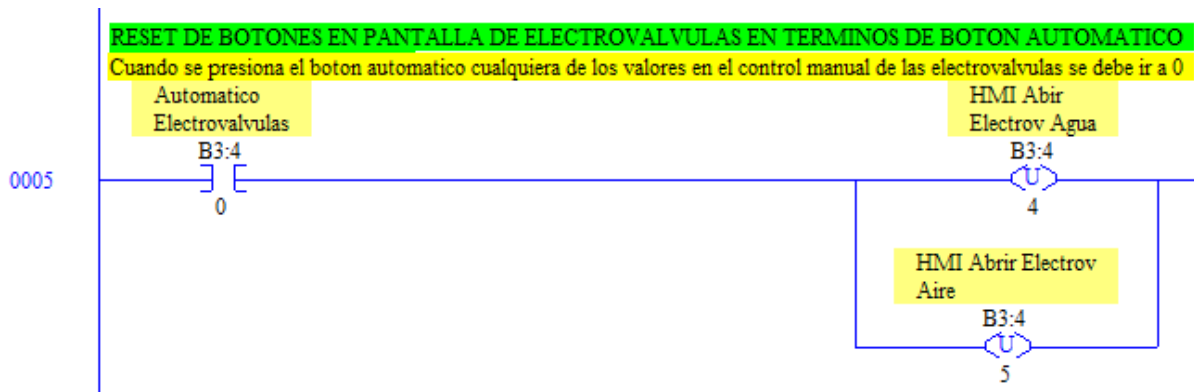
La sección encargada del paro de emergencia del sistema en caso de rebases o por falta de Hipoclorito de Sodio está representada por la línea 4 en la figura 3.27. Cuando alguno de los contactos de Sobrenivel Mezcla Cloro o Nivel Bajo Cloro se activa se produce el Reset de las salidas a las electroválvulas.

Los botones mantenidos, creados para el control manual de las electroválvulas, en la



**Figura 3.27:** Paro de emergencia por sobrenivel de mezcla o falta de cloro. Fuente: Elaboración propia

pantalla dependen no solo de su estado sino del valor del contacto Automatico Electrovalvulas, es decir, cuando este último se hace verdadero los botones se restablecen a cero (Reset). En la figura 3.28 es posible apreciar el código que ejecuta esta operación, la idea es que cuando se esté trabajando en manual y se tengan válvulas abiertas no sea necesario apagar manualmente todo antes de pasarse al modo automático nuevamente.



**Figura 3.28:** Reset de botones en modo manual. Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Programación de HMI

La pantalla utilizada para la automatización del proceso corresponde al PanelView 1000 Plus, ubicada en el cuarto de control de calderas, en conjunto con el software Factory Talk View ME versión 6.10.

Es importante mencionar que la pantalla trabaja con la versión 5.1, por lo tanto, se debe hacer la conversión a la versión 6.10 para modificarla en el software y luego guardarla en 5.1 para cargarla nuevamente en la pantalla.

Debido a que la pantalla no está conectada a la computadora que cuenta con Factory Talk, es necesario copiar el programa mediante algún elemento de almacenamiento externo

para abrirlo posteriormente en el software. En este caso se utiliza una memoria USB y se sigue el siguiente procedimiento:

1. Conectar la unidad de almacenaje externo al Panel View.
2. Abrir las configuraciones de la terminal (Terminal settings).
3. Entrar a manejo de archivos (File Management).
4. Abrir copiar archivos (Copy Files).
5. Abrir copiar aplicaciones (Copy Applications).
6. Seleccionar el programa que se desea copiar.
7. Una vez seleccionado se entra a Destino (Destination).
8. Se selecciona la unidad de almacenaje donde se quiere copiar (External Storage 1-2).

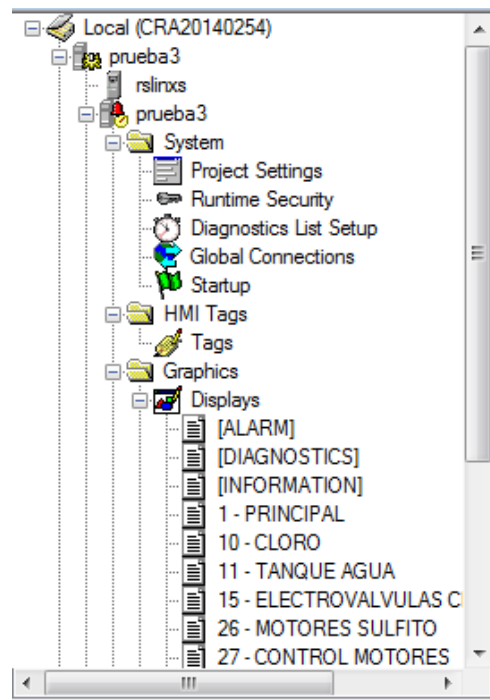
Una vez con el programa en versión 5.1 en la unidad de almacenamiento externo se procede a convertirla en la versión 6.10, en la computadora, mediante el siguiente procedimiento:

1. Abrir el software Factory Talk View ME.
2. Se abre la pestaña de herramientas (Tools).
3. Entrar a gestor de aplicaciones (Application Manager).
4. Seleccionar restaurar aplicaciones (Restore runtime application) y darle siguiente.
5. En el botón donde aparecen tres puntos se selecciona el archivo del programa en la memoria USB (archivo .mer).
6. Se escribe el nombre y luego se hace click en finish.

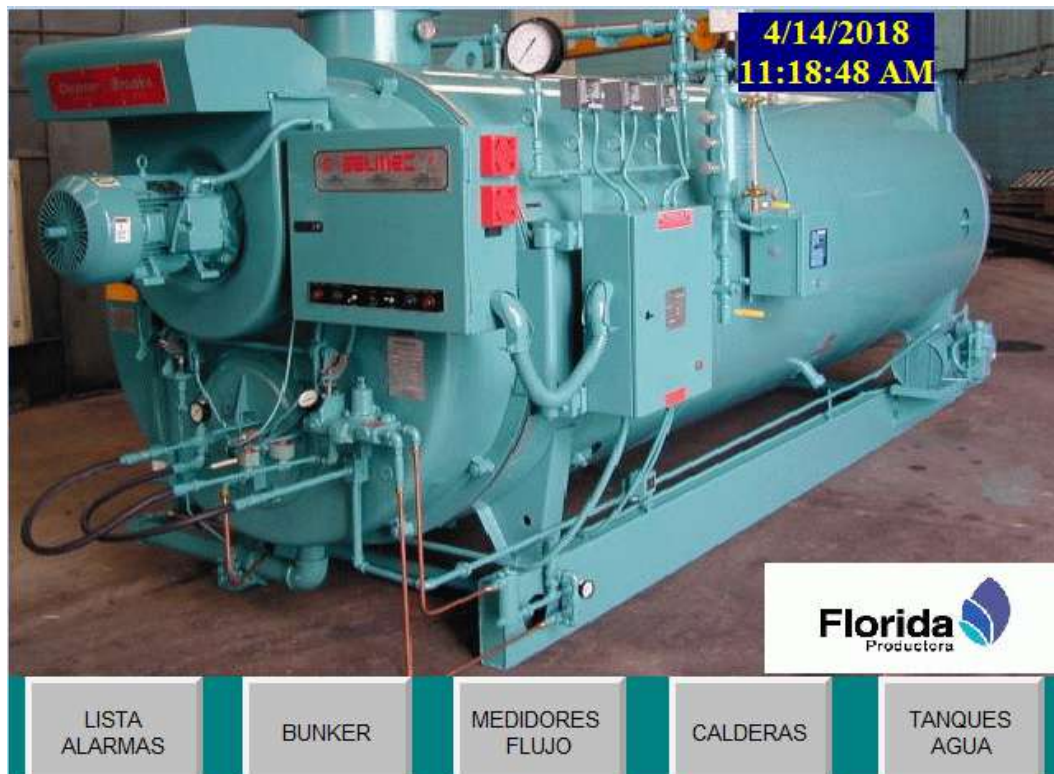
De igual forma que ocurre con la programación del PLC, el proceso de programación del HMI no se inicia desde cero. Se parte del último programa cargado en la pantalla y se realizan las modificaciones necesarias para agregar el proceso de clorado.

En la figura 3.29 es posible observar parte del árbol del programa y algunas de las pantallas (Displays) que forman parte del mismo. Cada pantalla puede verse de manera análoga como las subrutinas en el programa en escalera del PLC.

La pantalla 1-PRINCIPAL como su nombre lo dice va a ser la primera que aparece cuando se ejecuta el programa. En ella aparecen botones en la parte inferior que permiten la navegación a través de los principales procesos que lo conforman, la figura 3.30 muestra el detalle de la pantalla 1-PRINCIPAL.



**Figura 3.29:** Árbol del programa en Factory Talk. Fuente: Elaboración propia



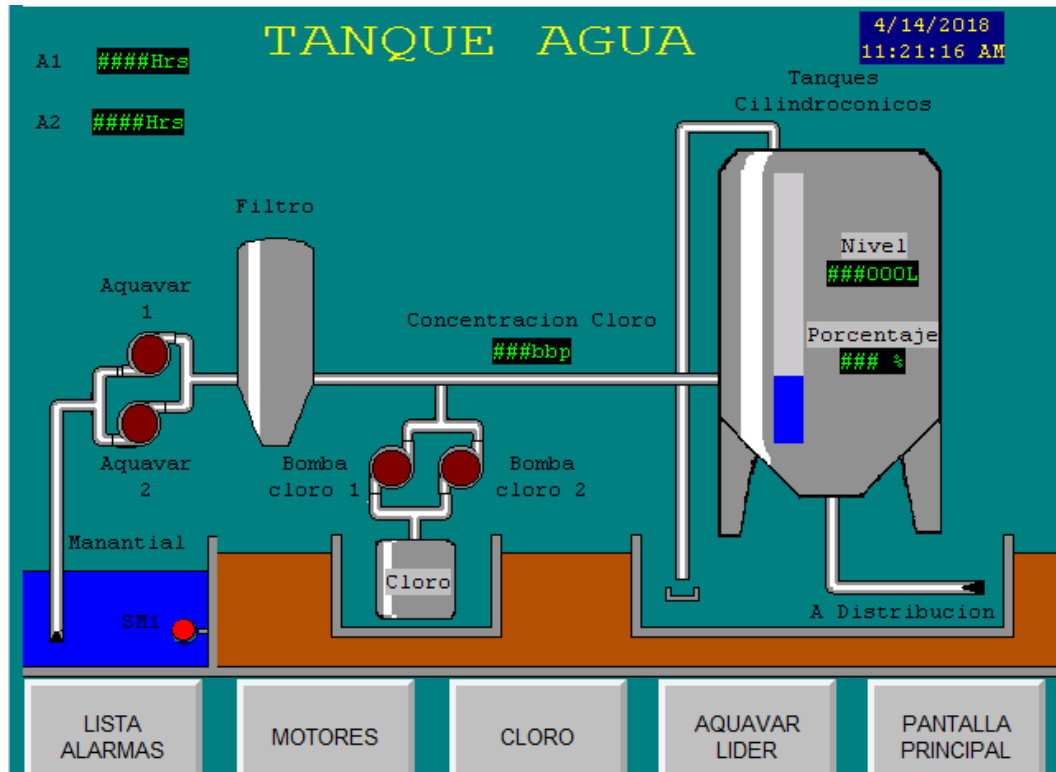
**Figura 3.30:** Pantalla 1-PRINCIPAL. Fuente: Elaboración propia

La única modificación requerida en esta pantalla es eliminar el botón destinado a Soda Cáustica, ya que como se mencionó en secciones anteriores el proceso fue eliminado. Con la eliminación del botón se hace un reacomodo de los botones restantes para mantener la



estética y simetría.

El proceso de clorado de manera muy general ya aparece en la pantalla 11- TANQUE AGUA; sin embargo, se requiere agregar una pantalla exclusiva para mostrar en su totalidad todos los elementos y variables del clorado del agua. En la figura 3.31 se aprecia el detalle de la pantalla.



**Figura 3.31:** Pantalla 11- TANQUE AGUA. Fuente: Elaboración propia

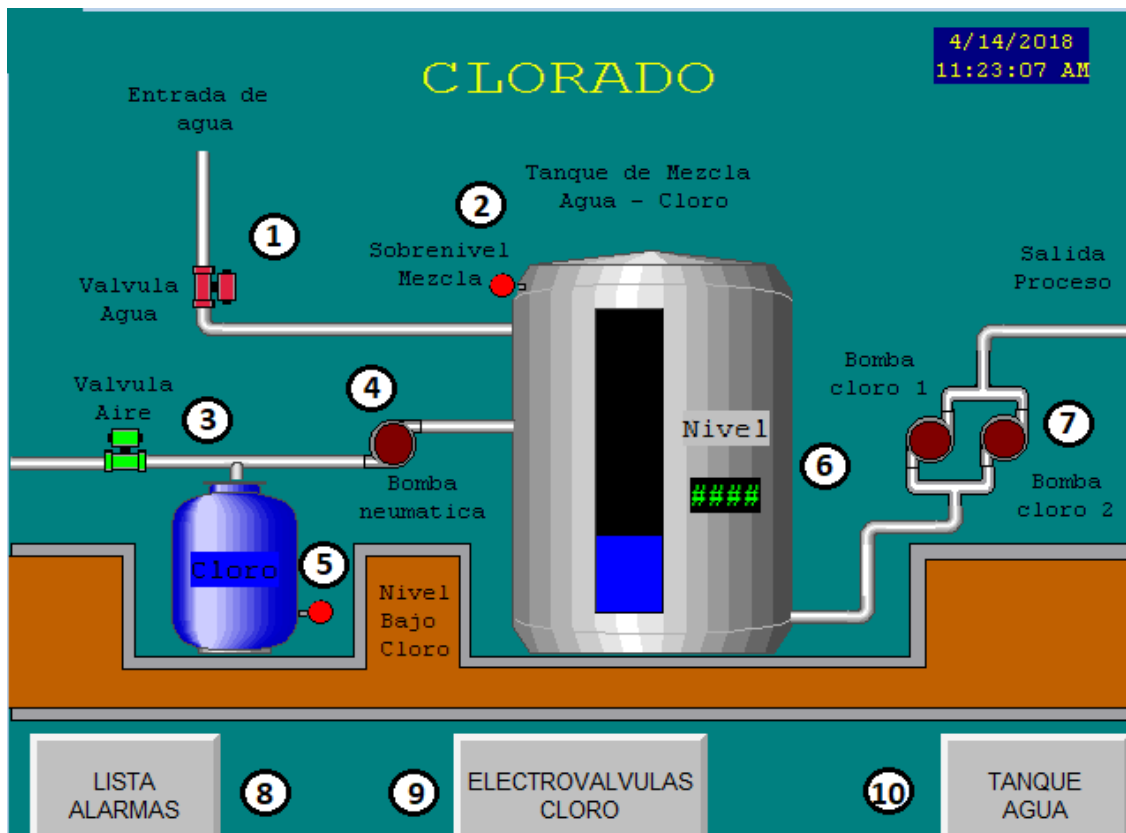
La única modificación en este Display corresponde a la adición de un botón Ir a (Go to) apuntando a la nueva pantalla de CLORO. De igual forma se reajustan todos los botones para mantener la simetría.

Como parte de los requerimientos del proyecto se pide que las pantallas que se añadan mantengan el mismo formato, por lo tanto, 11- Tanque Agua se utiliza como plantilla para la elaboración de 10- CLORO. Elementos como las tuberías, forma de representación del suelo, paredes, colores de fondo y posición de los botones se mantienen.

En la figura 3.32 se observa el detalle de la pantalla 10-CLORO para el control y visualización del proceso de clorado. La numeración no es parte de la pantalla, simplemente se utiliza para explicar en detalle los elementos presentes.

El elemento representado con el 1 es la válvula de mariposa encargada del flujo del agua, su estado (color) depende de los finales de carrera que posee. Si está abierta se torna de color verde, si está cerrada es de color rojo y si está en transición aparece de color gris.

La simbología de colores es la misma para todas las animaciones, el color verde se usa durante el estado 1 (verde), activado o encendido y el 0 (rojo) para representar apagado o



**Figura 3.32:** Pantalla 10- CLORO. Fuente: Elaboración propia

desactivado. La válvula de agua es la única con un tercer estado para denotar la transición.

El indicador con el número 2 corresponde a una boya destinada a determinar si existe un sobre nivel de mezcla de agua y cloro. De acuerdo al funcionamiento normal del sistema la disolución nunca debe superar la sonda de nivel, que se encuentra ligeramente abajo de la boya, por lo tanto este sensor de sobre nivel se utiliza como paro de emergencia automático del sistema antes que desborde.

La válvula de control de flujo de aire y la bomba neumática (3 y 4) poseen la animación controlada por la misma señal de salida del PLC, esto debido a que ninguna posee sensores o finales de carrera. La razón para mantener ambas gira en torno a representar de manera más exacta los componentes que forman parte del proceso.

Para reflejar un bajo nivel de líquido en el tanque de Hipoclorito de Sodio se utiliza otra boya, el estado de la misma se refleja en el indicador señalado con el 5. Esta animación le indica al operario o encargado que se requiere un cambio de tanque de cloro.

La sonda de nivel analógica, colocada en el tanque de disolución, está representada de dos maneras; la primera animación corresponde a una barra de dos colores donde el negro es el fondo y el color azul varía representando la cantidad de líquido en el tanque, la segunda mediante un display numérico que muestra el porcentaje del tanque con líquido.

Las bombas encargadas de inyectar la mezcla en las tuberías principales son las que

aparecen del lado derecho, junto al número 7. El control de dichas bombas no forma parte del proyecto debido a que depende del llenado de los tanques cilíndricos, su presencia es solo para facilitar la visualización.

Los botones representados con los números 8 y 10 son de navegación a pantallas ya existentes, la primera para el manejo y visualización de las alarmas y la segunda para regresar a la pantalla anterior.

El botón ELECTROVÁLVULAS CLORO permite ingresar a la pantalla dedicada al control de las válvulas presentes en el cuarto de cloro. Los requerimientos establecen que las pantallas creadas sigan el mismo formato de las existentes, por lo tanto, se utiliza el Display 12- MOTORES AGUA como plantilla para el Display 15-ELECTROVALVULAS CLORO

El primer paso corresponde a la duplicación de la pantalla 12- MOTORES AGUA, una vez duplicada se le asigna el nombre deseado, 15- ELECTROVALVULAS CLORO en este caso. Posteriormente se eliminan los botones sobrantes y se reajustan los que quedan, finalmente se modifican los tags para que queden vinculados con las variables correspondientes del PLC.

En la figura 3.33 se observa el detalle de la plantilla y el resultado con las ligeras modificaciones. El primer botón mantenido se utiliza para la selección del modo de funcionamiento, ya sea automático o manual y en conjunto con los botones mantenidos de la tercera columna se puede realizar la apertura de cualquiera de las electroválvulas para el caso de la pantalla en la parte inferior.

Cuando el botón de selección de modo se encuentra en estado automático no es posible presionar ninguno de los botones del control manual.

La última sección por editar en la programación del HMI corresponde a la configuración de las alarmas para alertar al personal de acontecimientos especiales en el proceso de clorado. En la figura 3.34 se muestra la pantalla de configuración de las alarmas.

Recordando que las alarmas en el PLC están vinculadas con un número entero, el N30:19, se hace ingreso a la pantalla de configuración de las alarmas y se agrega una nueva alarma (Add) con el nombre deseado, ALARMAS CLORO, en este caso. En la pestaña de tipo de disparo (Trigger type) se selecciona valor (value) de este forma dependiendo del valor del entero así es la alarma que se activa.

Los enteros están compuestos de 16 bits y en el caso de las alarmas para el cloro solo se utilizan los primeros 4, es decir, puede tomar cualquier valor de 0-15 al convertirse de binario a decimal.

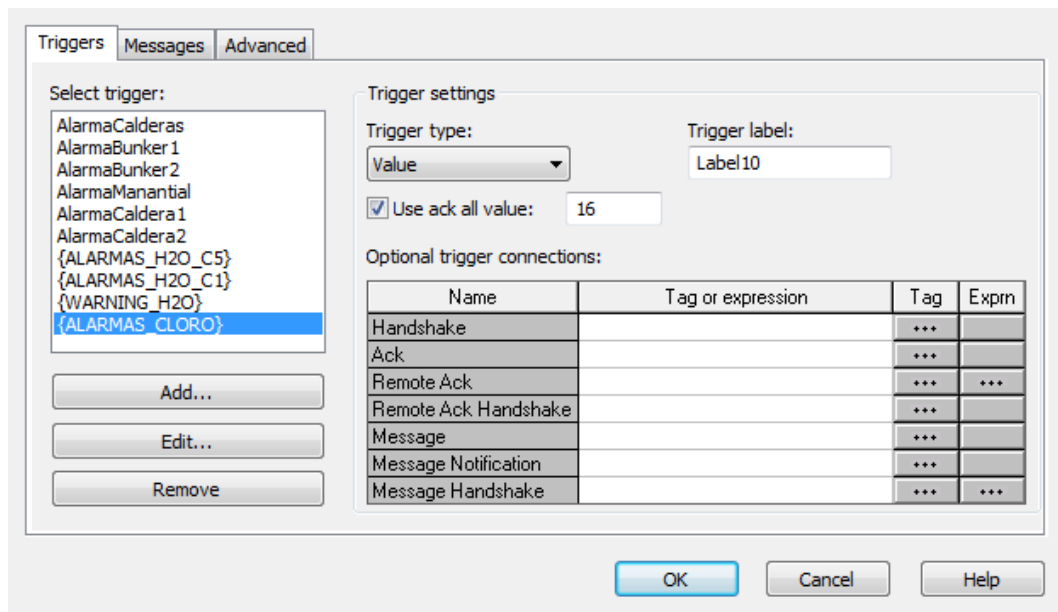
En la figura 3.35 se aprecia la configuración de los mensajes de las alarmas dependiendo del valor del entero. Se configura hasta el 12 debido a que posiblemente ya se haya mostrado una alarma respecto a cualquiera de los elementos presentes y además es poco probable que se enciendan todas al mismo tiempo.

Para terminar con la programación en Factory Talk View ME y cargar el programa en el

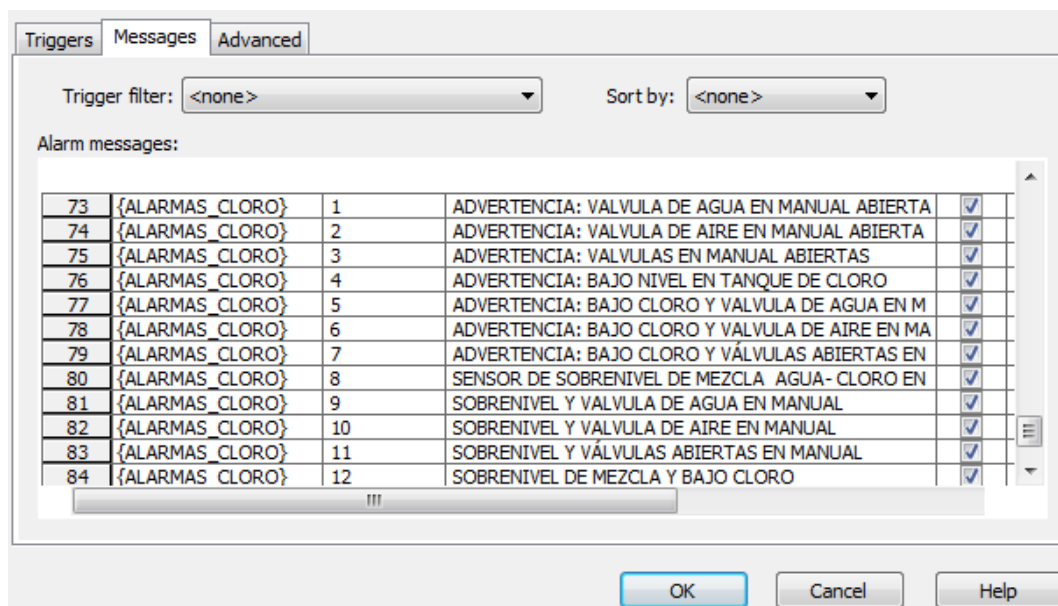


**Figura 3.33:** Comparación de las pantallas 12- MOTORES AGUA y 15- ELECTROVALVULAS CLORO. Fuente: Elaboración propia

Panel View es necesario realizar los siguientes pasos:



**Figura 3.34:** Sección de configuración de alarmas (Agregar alarma). Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.35:** Sección de configuración de alarmas (Mensajes). Fuente: Elaboración propia

1. Para realizar la conversión de la versión 6.1 a 5.1 dentro de Factory Talk se hace click en la pestaña de Aplicación (Application), luego en create Runtime Application y en guardar como se elige versión 5.1. Es importante observar la ruta donde se guarda para poder copiarla posteriormente en una memoria USB.
2. Una vez con el programa en la memoria USB se procede a conectarla en el Panel View.
3. Se ingresa a configuraciones de la terminal (Terminal Settings).
4. Gestor de archivos (File Management).

5. Copiar archivos (Copy Files)
6. Copiar Aplicaciones (Copy Applications)
7. En fuente (source) seleccionar la memoria USB y en destino almacenaje interno (internal storage).
8. Una vez copiado se abre la pestaña de cargar aplicaciones (load applications) y se selecciona la pantalla deseada.
9. Finalmente se corre la aplicación (Run application)

### 3.9. Calibración y pruebas de funcionamiento

Una vez programados y conectados todos los dispositivos se procede a probar el funcionamiento de cada uno de ellos; se utiliza el HMI para verificar el valor de cada una de las entradas y salidas, así como realizar la apertura y cierre de válvulas para comprobar que están funcionando adecuadamente.

Las pruebas se realizan de forma que la concentración de cloro en el tanque no se vea afectada, esto se logra en el caso de la válvula de mariposa (agua) cerrando la entrada de agua y en la electroválvula desconectando la salida a la bomba neumática; de esta manera no hay flujo de agua ni cloro al tanque.

Las pruebas en los sensores son las más simples, para las boyas, que no requieren calibración, basta con subirlas y bajarlas manualmente para observar en pantalla como pasan de color rojo a verde según sea el caso; los finales de carrera de la válvula de mariposa de manera semejante solo necesitan que la válvula se abra o se cierre para verificar en pantalla su estado.

Al probar los sensores de manera individual es posible verificar que las alarmas ligadas a sensores, como la de sobre nivel o la de falta de cloro aparecen en pantalla.

El sensor de nivel analógico requiere de calibración, al tratarse de un sensor inteligente se puede seleccionar mediante unos switches si la calibración es desde el mismo sensor o utilizando una terminal externa, se selecciona la calibración desde el dispositivo. Si la calibración es desde el dispositivo se puede elegir entre 2 modos de funcionamiento para tanque cilíndrico: en posición vertical o en posición horizontal.

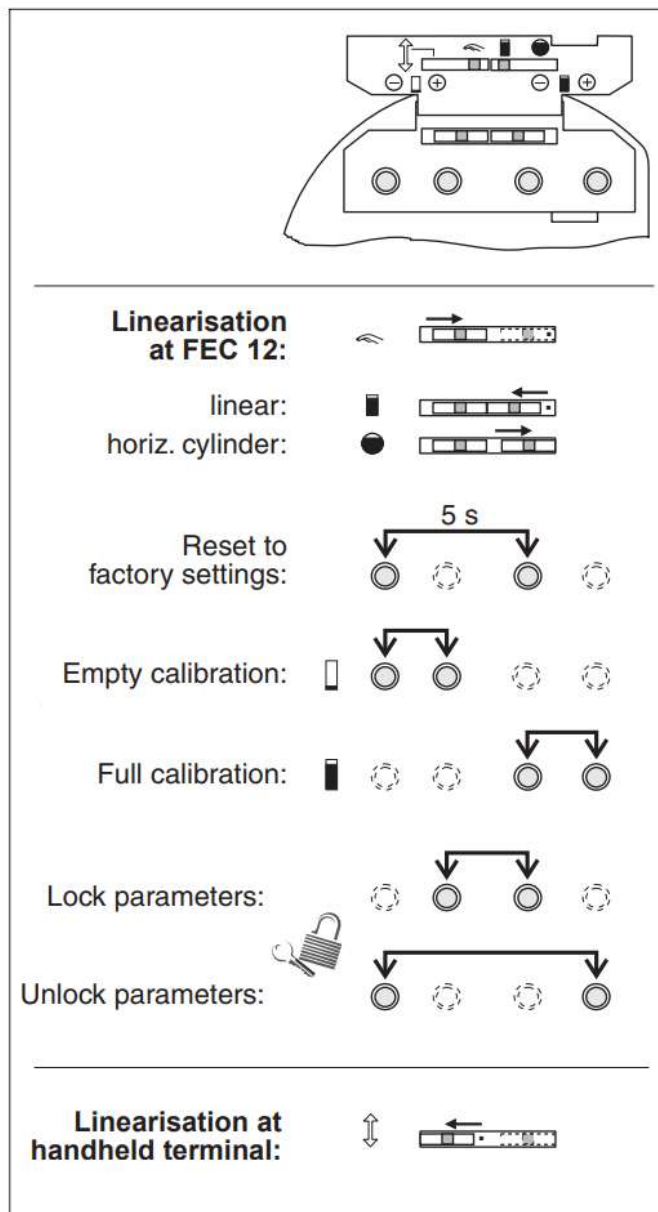
El tanque de disolución no es completamente cilíndrico; sin embargo, al no requerirse una medición tan fina por el tipo de control que necesita el sistema, basta con seleccionar el modo en posición vertical. En la figura 3.36 se observa el detalle de la calibración del sensor en modo manual.

Para acceder a los botones que se muestran en la imagen hay que retirar la tapa exterior y levantar la tapa de la sección de calibración; como ya se mencionó se elige la linealización en FEC12 corriendo el switch hacia la derecha y el segundo switch hacia la izquierda para elegir el tanque en posición vertical.

Primero se requiere la calibración del tanque vacío, esta se realiza presionando los primeros 2 botones hasta que el LED parpadee y finalmente siguiendo el mismo procedimiento, pero con los 2 últimos botones, se calibra el tanque lleno. Una vez configurado se pueden bloquear las calibraciones para evitar que se modifiquen presionando al mismo tiempo los botones del centro.

Una vez con el sensor calibrado se realizan pruebas observando en pantalla el nivel que muestra según se va llenando el tanque de mezcla.

Con todos los sensores y actuadores calibrados y probados se realizan pruebas del sistema completo. En la primera prueba utilizando la pantalla ELECTROVÁLVULAS CLORO,



**Figura 3.36:** Detalle de la calibración de la sonda capacitiva. Fuente: [11]

destinada al control del sistema, se realiza la apertura manual de las válvulas, generando las alarmas correspondientes en pantalla, y se llena el tanque al punto de rebalse. El sistema mediante el paro de emergencia debe cerrar las válvulas justo antes de dicho punto.

En la segunda prueba se selecciona el modo automático de forma que el sistema tenga que determinar el momento de encendido y apagado de las válvulas para lograr el llenado.

Con las pruebas 1 y 2 superadas el viernes 18 de mayo se deja el sistema funcionando en modo automático por una semana para verificar que el mismo funciona adecuadamente por un largo periodo.

Dicho periodo de una semana se utiliza para analizar la concentración de cloro y de



esta manera determinar si el sistema requiere de algún cambio para cumplir con los requerimientos.



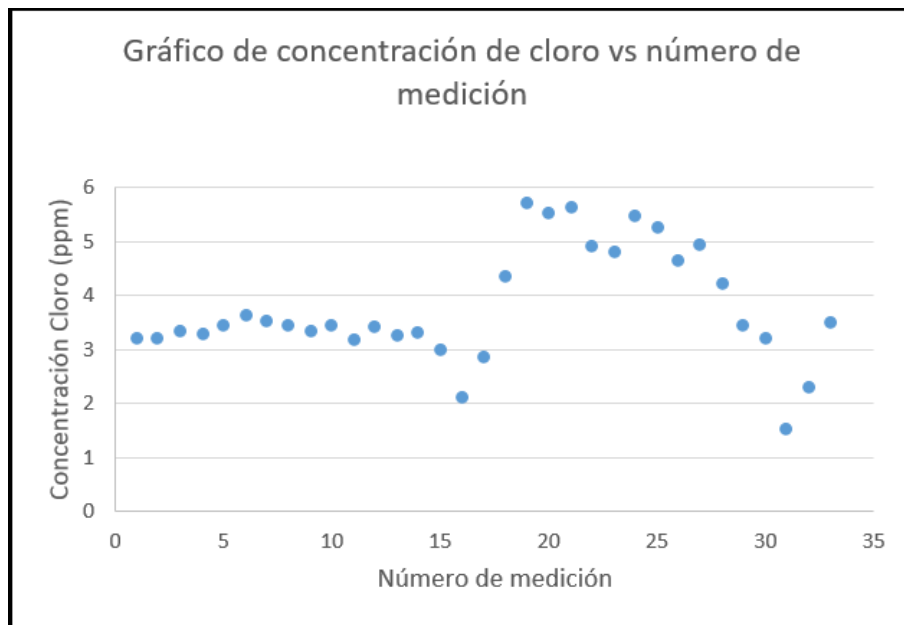
# Capítulo 4

## Resultados y análisis

### 4.1. Concentración de cloro en el agua

Tras realizar un periodo de pruebas entre las cuales se incluye una semana de funcionamiento autónomo del sistema, del viernes 18 de mayo al viernes 25, se utilizan los resultados de laboratorio para determinar que la concentración de cloro en el agua sea la requerida.

Las mediciones de la concentración generalmente se realizan 6 veces al día, separadas entre sí por 3 - 5 horas. En la figura 4.1 se muestra un gráfico de las mediciones de concentración de cloro en las fechas mencionadas.



**Figura 4.1:** Gráfica de concentración de cloro en la semana de prueba. Fuente: Laboratorio de Planta Cristal y elaboración propia mediante Excel

De acuerdo con los estándares de la empresa la concentración de cloro en el agua debe

estar en el rango de 3 a 5 ppm o partes por millón, el gráfico muestra mucha estabilidad en los primeros días de funcionamiento con un periodo de gran variación hacia el final.

De las 33 mediciones realizadas 5 están ligeramente por encima de lo establecido y 4 por debajo, es decir aproximadamente un 27 por ciento no cumple con los requerimientos; sin embargo el promedio ronda los 3,7 ppm. Es importante mencionar que previo a la automatización del proceso las mediciones de concentración igual presentaban variaciones y valores que salían de los rangos.

A pesar de la variación en el diámetro de la tubería de entrada de agua, por la válvula de mariposa de menor diámetro, las mediciones no muestran una afectación directa en la concentración, es decir, al reducir la entrada de agua se esperaría una elevación en la concentración de cloro; sin embargo, las primeras 15-18 mediciones no muestran tal comportamiento.

Valores ligeramente por encima o por debajo del rango pueden ser fácilmente corregidos por los encargados utilizando el modo manual del sistema (desde la pantalla) y abriendo la válvula que se requiera.

De acuerdo a los encargados del proceso, basados en las mediciones del laboratorio, los resultados de la implementación del sistema desde el punto de vista de concentración de cloro en el agua, son satisfactorios y se decide mantener las condiciones de funcionamiento de forma permanente.

## 4.2. Análisis económico

El costo total del proyecto está definido por el valor de los componentes adquiridos y la mano de obra utilizada. En las tablas 4.1 y 4.2 se resumen los costos de dichos apartados.

Los componentes marcados en su sección de costo con \* representan a aquellos que fueron reutilizados o que ya formaban parte del proceso productivo como el PLC y el HMI. Debido a la renovación de la planta la mayoría de componentes y accesorios no tuvieron que ser comprados; a los componentes reutilizados de igual manera se les asigna un valor como si se adquirieran de segunda mano.

**Tabla 4.1:** Resumen del costo de los componentes utilizados en el proyecto. Fuente: Elaboración propia

Componente	Costo (Colones)
Computadora con software requerido	0*
PLC SLC 500 5/05 Allen Bradley	750 000*
Módulos Flex I/O	239 000*
PanelView 1000 plus Allen Bradley	550 000*
Cable de 18 líneas x 60 metros	150 000*
Canasta metálica para canalización	15 000*
Valvula de mariposa APV y acoples	460 000*
Electroválvula PS1 E23 de Parker	45 000*
Sonda Endress Hauser Multicap T	400 000*
Tubería y codos EMT para canalización	51 500
Boyas de nivel metálicas	20 865
Racores	30 750
Acople maquinado para sonda y boya	58 760
<b>Total</b>	<b>2 770 875</b>

**Tabla 4.2:** Resumen del costo de la mano de obra utilizada en el proyecto. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Cantidad de horas	Costo (Colones)
Cableado	6	24 000
Diseño de programas	30	120 000
Colocación de tubería EMT	10	40 000
Soldadura de piezas	6	24 000
Pruebas de funcionamiento	8	32 000
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>240 000</b>

El costo por hora se toma en base a un salario de 640 000 colones mensuales para un empleado que trabaje 160 horas, es decir 4000 colones/hora.

El costo total del proyecto se detalla en la tabla 4.3. Es posible apreciar que el costo general es bastante bajo si se toma en cuenta el precio que poseen algunos de los componentes que no se tuvieron que comprar nuevos.

**Tabla 4.3:** Resumen del costo total del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Costo (Colones)
Componentes	2 770 875
Mano de obra	240 000
<b>Total</b>	<b>3 010 875</b>

Asumiendo que el sistema esté trabajando de forma automática de manera ininterrumpida por 1 año, se pueden considerar los ahorros de tiempo y dinero mostrados en la tabla 4.4.

El ahorro en horas al día corresponde a un dato aproximado obtenido al considerar que el personal realiza el clorado de 2 a 3 veces al día, 6 minutos por clorado, y también recibe llamadas del laboratorio para corregir la concentración de manera poco frecuente (20 minutos al día).

**Tabla 4.4:** Resumen de posibles ahorros obtenidos a través del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Detalle	Horas/día	Horas/año	Ahorro colones/año
Automatización	0.33	121	453 750

El costo total del proyecto corresponde al flujo de caja 0 y el ahorro en colones por año puede verse como los flujos de caja del 1 al 10. El cálculo del VAN y TIR se realiza para un periodo de 10 años y se puede observar su resumen en la figura 4.2.

Se utiliza un mismo valor de ahorro todos los años como una forma de ser conservadores; sin embargo, al estar vinculado con un salario los ahorros irían en aumento año con año. A pesar de usarse un periodo de 10 años, los ahorros continúan mientras el sistema esté en funcionamiento.

La decisión de desarrollar el proyecto no gira en torno a un aumento de la producción, reducción en el uso de materia prima o ganancia, sino en facilitar el trabajo a los operarios encargados del clorado; al fin y al cabo el proyecto se refleja en un ahorro de tiempo y energía por parte de estos operarios que puede aprovecharse en otras tareas.

Es importante mencionar que la manipulación del Hipoclorito de Sodio presenta riesgos a la salud si no se hace correctamente; la automatización disminuye drásticamente la frecuencia con la que los operarios deben realizar dicha manipulación y esto a su vez

Flujos de caja (€)	COK (%)	8	10
FC0= -3 010 875	VAN (€)	33 824	-222 778
FC1= 453 750			
FC2= 453 750	TIR (%)	8,25	
FC3= 453 750			
FC4= 453 750			
FC5= 453 750			
FC6= 453 750			
FC7= 453 750			
FC8= 453 750			
FC9= 453 750			
FC10= 453 750			

COK: Costo de Oportunidad de Capital

**Figura 4.2:** Resumen del cálculo del VAN y TIR para un periodo de 10 años. Fuente: Elaboración propia mediante Excel

disminuye el riesgo de accidentes con el químico. Es decir podría reducir costos asociados a accidentes laborales.





# Capítulo 5

## Conclusiones y recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- Se analizó el proceso de clorado existente y se determinó la manera para obtener la concentración deseada de cloro y de esta manera aplicarla en el proceso automatizado.
- Se determinó la cantidad de entradas y salidas requeridas para lograr un control efectivo del proceso a través del PLC.
- Se elaboró el programa en escalera, adaptaciones para el acople de sensores y actuadores, así como las conexiones eléctricas y neumáticas que garantizan el funcionamiento del sistema.
- Se programó la interfaz HMI permitiendo una adecuada monitorización y control del sistema mediante ambos modos de funcionamiento.
- Se validó la concentración de cloro en los rangos deseados por la empresa, a través de mediciones realizadas por el laboratorio de la planta.
- Se determinó la viabilidad económica del proyecto a través del análisis económico, así como los beneficios que trae la implementación del sistema.

## 5.2. Recomendaciones

El sistema tal cual fue automatizado brinda una gran autonomía al procesado de clorado; sin embargo, no lo desvincula por completo del operador al existir la necesidad de corregir la concentración ocasionalmente.

Para obtener total autonomía se deben modificar 2 elementos, el primero corresponde a completar el lazo de control poniendo en marcha el sensor de concentración de cloro, de manera que ni laboratorio ni calderas tengan que intervenir en el proceso de clorado.

Con el sensor de concentración en funcionamiento y con ligeras modificaciones en la programación, es posible mantener el tanque en un nivel específico y con la concentración de cloro en el rango de 3 - 5 ppm como lo establecen los estándares que utilizan.

El segundo gira en torno al almacenamiento del Hipoclorito de Sodio, los tanques utilizados actualmente son de 240 kg y tienen una duración de 3-4 días; un tanque de mayor tamaño permitiría disminuir la frecuencia en la que los operarios deben ir a sustituir los mismos.

Algunas otras mejoras que en sí no modifican el proceso pero brindan mas precisión y seguridad al mismo corresponden a:

1. Sustitución de la sonda de nivel de 60 cm por una de 1 m, esto permitiría medir el nivel en todo el tanque de mezcla.
2. Sustitución de la electroválvula de control de flujo de cloro por una con sensores de posición, dichos sensores permiten verificar que la válvula efectivamente hizo la apertura o cierre.
3. Adición de una salida de agua en el fondo del tanque para labores de limpieza.
4. Acatamiento de las normas de seguridad para la manipulación del Hipoclorito de Sodio, debido al riesgo que representa para la salud un mal manejo del mismo.

# Bibliografía

- [1] Controladores programables. URL <http://www.monografias.com/trabajos75/controladores-programables/controladores-programables3.shtml>.
- [2] Norma iec 1131. URL [http://isa.uniovi.es/docencia/ra\\_marina/cuatrim2/Temas/IEC61131.pdf](http://isa.uniovi.es/docencia/ra_marina/cuatrim2/Temas/IEC61131.pdf).
- [3] Sensor de nivel tipo boya. URL <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452872935-flotador-sensor-nivel-interruptor-acero-inoxidable-recto-JM>.
- [4] Allen-Bradley. Slc 5/03, slc 5/04, and slc 5/05 modular processors. URL [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1747-in009\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1747-in009_-en-p.pdf).
- [5] Allen-Bradley. Flex i/o analog modules, 1996. URL [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1794-um002\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1794-um002_-en-p.pdf).
- [6] Rockwell Automation. Factorytalk view machine edition user's guide. URL [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-um004\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/viewme-um004_-en-e.pdf).
- [7] Rockwell Automation. Factorytalk view me. URL <https://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/products/factorytalk-view-me.page>.
- [8] Rockwell Automation. Slc 500 controllers. URL <https://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/SLC-500-Controllers#specifications>.
- [9] J. Domingo. *Introducción a los autómatas programables*. Universitat Oberta de Catalunya, 2003. URL <http://ezproxy.itcr.ac.cr:2138/a/20239/introduccion-a-los-automatas-programables>.
- [10] I. Escalona. *Transductores y sensores en la automatización industrial*. El Cid Editor, 2007.
- [11] Endress Hauser. Capacitance level measurement electronic insert fec 12. URL <http://www.merteh.lv/eh/pdf/TI250FEN.PDF>.

- 
- [12] S. Heras. *Instalaciones neumáticas*. Universitat Oberta de Catalunya, 2003.
- [13] Mc Graw Hill. Automatización neumática. URL <https://www.blinklearning.com/coursePlayer/clases2.php?editar=0&idcurso=1186409&idclase=66248639&modo=0&numSec=5>.
- [14] A. Mercado, M. Martínez, F. Favila, and García A. Historia y evolución de la industria de semiconductores y la integración de México en el sector.
- [15] J. M. Molina and M. Jiménez. *Programación gráfica para ingenieros*. Marcombo, 2010.
- [16] A. L. Morera. Automatización y redes industriales.
- [17] GRAINGER México. Bomba de diafragma. URL <https://www.grainger.com.mx/producto/VERSA-MATIC-Bomba-de-Diafragma%2C-11-GPM%2C-1-2-pulg-/p/20LR22>.
- [18] A. Rodríguez. *Sistemas SCADA*. Marcombo, 2012.
- [19] Five Star Chemicals Supply. Butterfly valves. URL <http://www.fivestarchemicals.com/spx-valves/>.
- [20] R. C. Weber W. Haring, M. Metzger. *Neumática Nivel Básico*. 2005.

# Apéndice A

## Manual de Operación del Sistema



**MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CLORADO EN LA  
ENTRADA PRINCIPAL DE AGUA DE PLANTA CRISTAL**

En este documento se explica en detalle el funcionamiento del sistema de clorado para la correcta operación del mismo. El sistema está diseñado para funcionar de 3 maneras:

- Modo automático.
- Modo manual desde pantalla.
- Modo completamente manual (como se hacía previo a la automatización).

La selección de los dos primeros modos de funcionamiento se realiza a través de la pantalla en el cuarto de control de Calderas y el tercero requiere de algunas modificaciones manuales en la caseta de cloro, más adelante se explica en detalle el proceso que se debe cumplir para cada modo de funcionamiento.

Para acceder a la sección destinada al control del clorado se debe seguir el siguiente procedimiento:

- a) En la pantalla principal, mostrada en la figura 1, tocar el botón "TANQUES DE AGUA".

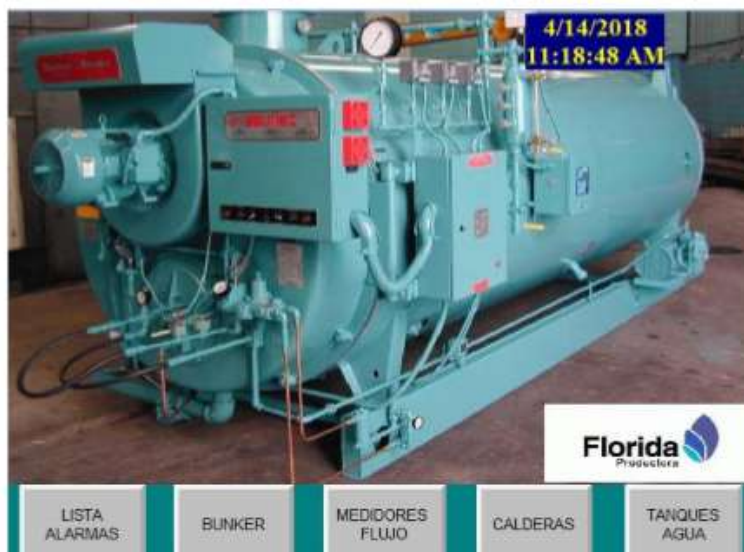


Figura 1. Pantalla principal

- b) En la pantalla de tanques de agua, mostrada en la figura 2, tocar el botón de "CLORO".

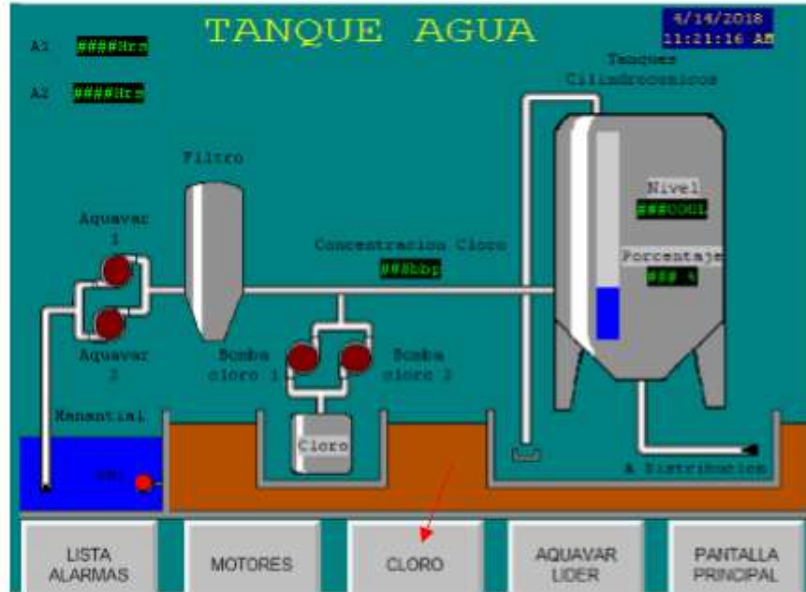


Figura 2. Pantalla TANQUES DE AGUA

Finalmente se llega a la pantalla mostrada en la figura 3, que corresponde a la sección de visualización del sistema de clorado. En el último programa cargado pueden existir ligeras variaciones en el diseño de la pantalla y posición de los elementos; sin embargo, el funcionamiento es el mismo.



Figura 3. Pantalla de visualización del sistema de clorado



Todos los elementos enumerados corresponden a aquellos que poseen alguna animación relacionada con las variables de entrada y salida del sistema. La explicación detallada de cada componente es la siguiente:

1. **Válvula agua:** Este elemento está vinculado con los sensores de posición de la válvula de mariposa que se encarga de controlar el flujo de entrada de agua. Tiene 3 posibles valores representados mediante colores, el rojo corresponde a la válvula cerrada, gris representa el proceso de transición de abierto a cerrado o viceversa y verde corresponde a abierto.
2. **Sensor Sobre Nivel de Mezcla:** La animación para este sensor corresponde al cambio de color del "bombillo" circular. Cuando existe un sobre nivel de líquido en el tanque el sensor se activa y el bombillo cambia de color rojo a color verde; el sobre nivel produce un paro de emergencia del sistema, por lo tanto cualquier válvula que estuviera abierta se cierra inmediatamente y no permite la apertura de ninguna hasta que el nivel baje.
3. **Válvula de aire:** Tiene dos posibles estados, el primero de color rojo significa que la válvula debería estar cerrada (no hay flujo de cloro) y el verde implica que la señal para abrir la válvula está abierta (hay flujo de cloro).
4. **Bomba neumática:** Sus estados poseen el mismo significado que la válvula de aire.
5. **Sensor Nivel Bajo Cloro:** Cuando el nivel en el tanque de cloro llega al mínimo el bombillo pasa de color rojo a color verde. De igual forma que el sobre nivel en el tanque de mezcla este produce un paro del sistema y no permite la apertura de ninguna válvula hasta que se desactive (color rojo).
6. **Nivel en tanque de mezcla:** Este permite visualizar el porcentaje del nivel en el tanque de mezcla representado mediante un número de 0 a 100.
7. **Bombas de inyección de mezcla:** Representan el estado de las bombas de inyección de mezcla, verde para encendido y rojo para apagado.
8. **Botón Lista de Alarmas:** Permite dirigirse a la pantalla de alarmas.
9. **Botón Electroválvulas de Cloro:** Direcciona a la pantalla destinada a la selección del modo de funcionamiento y control de válvulas.
10. **Botón Tanque de Agua:** Permite regresar a la pantalla anterior.

## Modo Automático

Este modo de funcionamiento es completamente autónomo, es decir, no requiere de la participación de ninguno de los operarios más que para la revisión de las alarmas. Cuando el porcentaje de nivel en el tanque toma un valor de menos de 20 % el sistema abre las válvulas y las cierra hasta que haya más de un 90% de líquido en el mismo.

El sistema está diseñado para permanecer funcionando en automático, si el modo manual es necesario en algún momento se debe utilizar y luego regresarlo al estado automático.

Para seleccionar el modo automático de funcionamiento se debe ingresar a la pantalla Electroválvulas Cloro, mostrada en la figura 4, y dejar el botón de estado en color verde tal y como aparece en la figura.

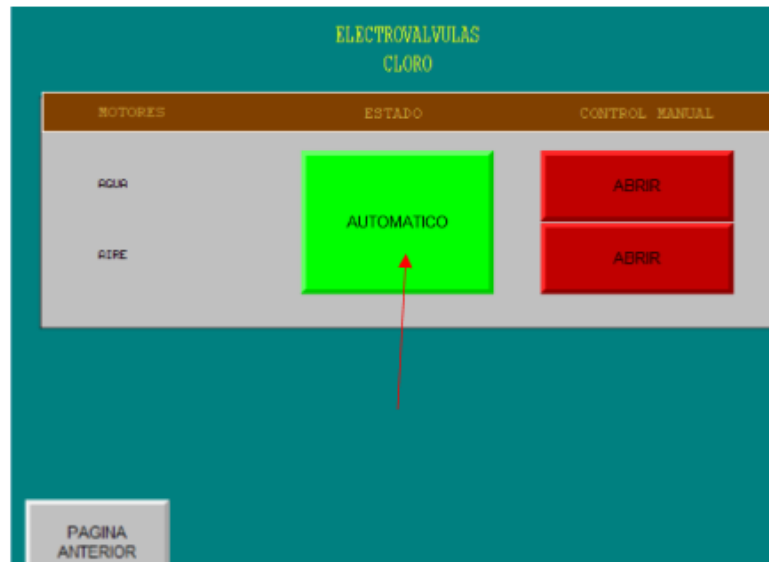


Figura 4. Pantalla ELECTROVALVULAS CLORO

### Modo Manual desde pantalla

Si al operario le notifican que la concentración de cloro no es la correcta y debe realizar ajustes, estos se realizan a través del modo manual en la pantalla. El primer paso corresponde a abrir la pantalla ELECTROVÁLVULAS CLORO, como ya se ha detallado, y presionar el botón de estado de forma que quede color gris y con el nombre MANUAL.

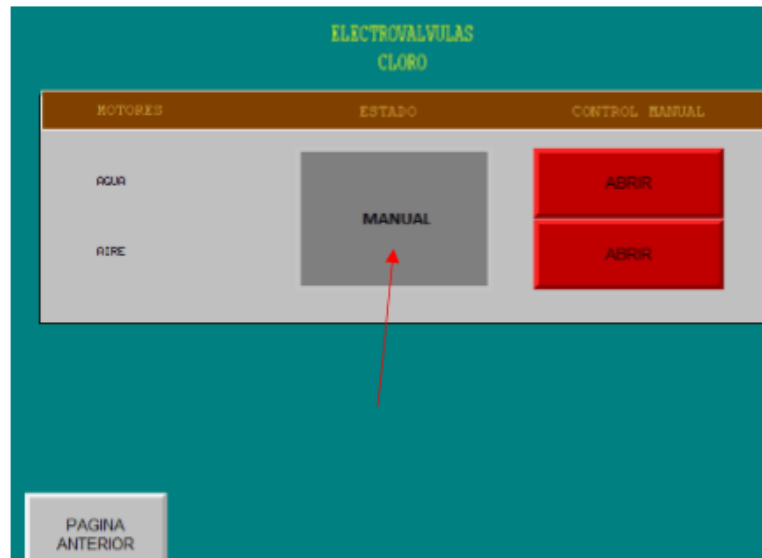


Figura 5. Pantalla ELECTROVÁLVULAS CLORO modo manual

Con el estado en manual es posible abrir cualquiera de las válvulas mediante los botones del lado derecho, verde significa abierto y rojo cerrado. Es importante antes de abrir cualquiera de las válvulas observar el nivel del tanque de mezcla, de forma que cuando se abra alguna de las válvulas se pueda comprobar el cambio en el nivel.

Una vez terminada la “corrección” de la concentración en modo manual es **importante cerrar las válvulas y dejar el sistema corriendo en modo automático** nuevamente, de lo contrario el nivel podría descender hasta quedarse sin mezcla.

### Modo Completamente Manual

Si alguno de los componentes falla y el sistema deja de funcionar adecuadamente es posible configurar el mismo de forma que trabaje como se realizaba antes de la automatización, es decir, abriendo llaves de paso en el cuarto de cloro.

La única herramienta necesaria para la modificación es un desatornillador plano pequeño. Lo primero que se debe hacer como precaución para modificar el funcionamiento de las válvulas es cerrar la entrada de aire a la bomba neumática, marcada con el número 3 en la figura 6.

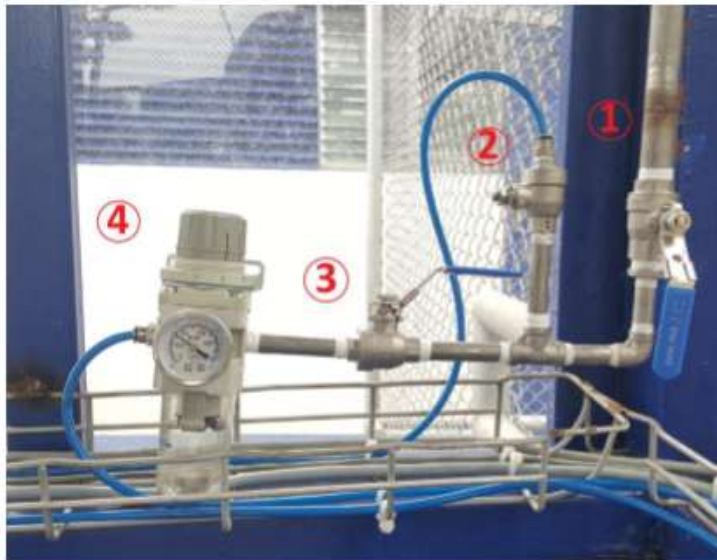


Figura 6. Llaves de paso de aire comprimido al sistema de clorado

En la imagen se muestra la llave abierta por lo tanto la posición cerrada corresponde a la llave en posición perpendicular respecto a la tubería. Las llaves 1 y 2 siempre deben permanecer abiertas para evitar problemas en el funcionamiento.

Una vez cerrada se procede a abrir la caja donde está la electroválvula de control de flujo de cloro y ubicar el elemento amarillo mostrado en la figura 7 del lado derecho. Este selector permite la elección de modo de funcionamiento de manera que cuando está en posición vertical trabaja mediante las señales del PLC y horizontal corresponde a la válvula abierta o directa; para el modo completamente manual debe quedar de forma horizontal.



Figura 7. Electroválvula de control de flujo de cloro

Cuando el selector amarillo se encuentra en posición vertical se debe girar 90 grados en la dirección de las manecillas del reloj para dejarlo en su posición horizontal y para regresarlo al modo vertical se debe girar 90 grados en la dirección contraria a las manecillas del reloj; no seguir estos pasos para el cambio de modo puede representar que la válvula quede directa a pesar de estar en posición vertical.

Posteriormente se debe modificar la válvula de agua de forma muy semejante a la anterior; sin embargo, se debe realizar un paso previo que corresponde a cerrar la llave de paso manual de agua, tal y como aparece en la figura 8.



Figura 8. Llave de paso manual de agua

Luego se debe retirar la tapa de la válvula y ubicar el selector verde que se muestra en la figura 9.

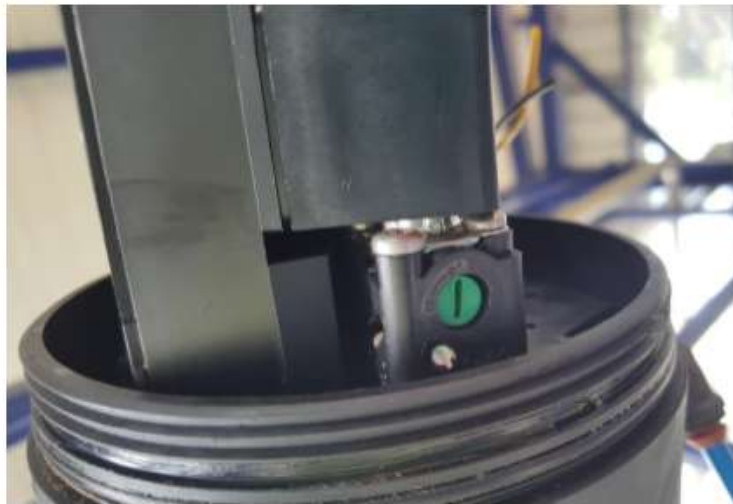


Figura 9. Selector de modo de funcionamiento en la válvula de agua

Este permite la selección de modo, cuando está en la posición 1 la válvula está abierta permanentemente (siempre y cuando tenga aire) y en 0 permite controlar la válvula mediante las señales del PLC. Para controlar manualmente se debe dejar en 1.



Una vez se hayan concluido las instrucciones anteriores el sistema está listo para utilizarse de manera completamente manual, para permitir el flujo de cualquiera de los líquidos basta con abrir la llave correspondiente (3 en figura 6 para el aire o la llave de la figura 8 para el agua).

Una vez se hayan solucionado los problemas en el sistema se deben regresar los selectores a su posición automática, es decir, el selector verde en 0 y el selector amarillo en la posición vertical, seguido de las llaves en posición abierta ya que de lo contrario el funcionamiento no será el correcto.

## ALARMAS

En pantalla es posible que aparezcan algunas de las siguientes alarmas:

1. **Válvulas en manual abiertas:** Significa que se seleccionó el modo manual en pantalla y se abrió alguna de las válvulas.
2. **Bajo cloro en tanque:** se agotó el hipoclorito de sodio y por lo tanto se requiere cambiar el tanque por uno nuevo. Esta alarma está conectada con la sirena de Calderas.
3. **Sobre nivel en tanque de mezcla:** El tanque de mezcla se llenó hasta el punto de rebalse por algún fallo en la sonda de nivel. También está conectada con la sirena.
4. **Válvula de agua nunca abrió:** PLC envió la señal de abrir la válvula del agua pero esta nunca lo hizo, es posible que ocurra si alguien deja cerrada la llave de entrada de aire principal.

El resto de alarmas son combinaciones de las anteriores.

