



# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**En opción al Título de Ingeniera en Automática**

**Autora**

**Danay Dumont Parra**

**Tutor**

**Ing. Raidel Fidel Linares**

**Vicente**

**Noviembre, 2023**



**UNIVERSIDAD  
DE ORIENTE**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica  
Departamento de Automática**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título**

**Diseño de un sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua en la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.**

**Autora**

**Danay Dumont Parra**

**Tutor**

**Ing. Raidel Fidel Linares Vicente**

**Noviembre, 2023**



Hago constar que el presente Trabajo de Diploma fue realizado en la Universidad de Oriente como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución para los fines que estime convenientes, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Nombre y firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Nombre y firma del autor

---

Nombre y firma del Tutor

---

Fecha

---

Nombre y firma del Jefe de Carrera

---

Fecha

---

Nombre y firma del Jefe de Departamento

---

Fecha

## Dedicatoria

*Este trabajo va dedicado a mi familia y a mis compañeros que han sido el apoyo y pilar fundamental durante los cuatro años de mi carrera universitaria, fundamentalmente a mi madre y a mi padre los cuales me dieron el ánimo y el impulso necesario en todo momento para alcanzar esta meta.*

*Muchas gracias.*

## **Agradecimientos**

*Quiero aprovechar este espacio para agradecer no solo a las personas que han hecho posible la realización de este trabajo, sino también a todos aquellos que de una forma u otra me han dado su apoyo incondicional a lo largo de estos cinco años. Es por ello que quiero agradecer especialmente a mis padres que sin su apoyo no hubiese sido posible terminar mis estudios. A mi tutor Ráidel Fidel Linares Vicente por su ayuda profesional, por sus consejos y empeño en la realización de esta tesis.*

*A mi amiga Daniela por ofrecerme los medios necesarios para lograr terminar este trabajo.*

*A todos mis amigos de la beca David, Angel, Ernesto, Talieny, Mirlenis, Nestor y Wilber por su compañía y apoyo en todo este proceso.*

*A todos muchas gracias.*

## **Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas**

SCADA: Control de la Supervisión y Adquisición de Datos.

UEB: Unidad Empresarial de Base.

WinCC: Centro de Control de Windows.

ATC: Compensación Automática de Temperatura.

PLC: Controlador Lógico Programable.

IEC: Comisión Electrónica Internacional.

SFC: Carta de Funciones Secuenciales.

FBD: Diagrama de bloques de funciones.

LD: Lenguaje de contactos.

IL: Lista de Instrucciones.

ISO (International Organization for Standardization): Organización Internacional de Normalización.

GRAFCET: Grafico de control mediante etapas y transiciones.

## Listado de imágenes

Figura. 2.1: Graficet del algoritmo para el control. ....	31
Figura. 2.2: Niveles de acceso de los usuarios. ....	33
Figura. 2.3: Esquema de conexiones.....	34
Figura. 2.4: Fragmento de la tabla de variables del PLC.....	35
Figura. 2.5: Pantalla de bienvenida.....	35
Figura. 2.6: Grupo de usuarios. ....	36
Figura. 2.7: Ventana de inicio de sección.....	36
Figura. 2.8: Panel de Control Principal.....	37
Figura. 2.9: Panel de operación manual.....	37
Figura. 2.10: Ajustes de las variables a graficar en el control de calidad.....	38
Figura. 2.11: Pantalla del control de calidad y producción.....	38
Figura. 2.12: Panel de ajustes. ....	39
Figura. 2.13: Avisos HMI que se generan. ....	40
Figura. 2.14: Categoría de los avisos.....	40
Figura. 2.15: Variables creadas en los registros de históricos.....	41
Figura. 2.16: Ficheros de los registros de históricos .....	41

## **Listado de tablas**

Tabla 1. Valores normados para el Sulfato de Aluminio.....	14
Tabla 2. Valores normados para la Cal hidratada .....	14
Tabla 3. Parámetros del agua proveniente del tanque 180 .....	14
Tabla 4. Parámetros del agua a la salida del precipitador .....	14
Tabla 5. Parámetros del agua a la salida de los ablandadores .....	15
Tabla 6. Parámetros del agua a la salida del deareador .....	15
Tabla 7. Parámetros sobre los filtros de antracita .....	15
Tabla 8. Variables del algoritmo de control. ....	34
Tabla 9. Costo del diseño e implementación del sistema SCADA.....	41

## Resumen

En el siguiente informe se aborda la propuesta del diseño de un sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de los Hermanos Díaz en Santiago de Cuba. El objetivo principal radica en el diseño de un sistema de automatización que supervise y controle de forma automática las variables más importantes para el proceso de tratamiento del agua. El documento presenta un marco conceptual para tener conocimiento sobre los sistemas de supervisión. Se profundiza en el fundamento teórico del diseño de los sistemas SCADA, considerando las características y funcionamiento del sistema de tratamiento de agua, todo en concordancia con las regulaciones establecidas por las autoridades pertinentes. Además, se detallan las especificaciones generales la interfaz de supervisión utilizada en la propuesta, así como el papel crucial de las comunicaciones industriales mediante diversos protocolos de transmisión. La propuesta de diseño de automatización se desarrolla partiendo de las condiciones actuales del sistema de tratamiento de agua, permitiendo la formulación de algoritmos para supervisar y controlar variables críticas, como la temperatura, dureza total del agua, presión diferencial y conductividad. Finalmente, para abordar la propuesta, se utilizaron métodos históricos y lógicos, análisis-síntesis, así como métodos experimentales de programación y simulación, con el fin de establecer una propuesta que garantice un control eficaz y una supervisión integral de las variables críticas en el proceso, asegurando estándares de calidad y cumplimiento de normativas.

Palabras claves:

*Control supervisorio, Controlador Lógico Programable, Interfaz Hombre Máquina, Control de temperatura, Control de dureza total, Control de conductividad.*

## **Abstract**

*The following report addresses the proposal for the design of a SCADA system for the Chemical Water Treatment Plant of the Diaz Brothers in Santiago de Cuba. The main objective is to design an automation system that automatically supervises and controls the most important variables for the water treatment process. The document presents a conceptual framework to gain knowledge about supervision systems. It delves into the theoretical foundation of SCADA system design, considering the characteristics and operation of the water treatment system, all in accordance with the regulations established by the relevant authorities. In addition, the general specifications of the monitoring interface used in the proposal are detailed, as well as the crucial role of industrial communications through various transmission protocols. The automation design proposal is developed based on the current conditions of the water treatment system, allowing the formulation of algorithms to supervise and control critical variables such as temperature, total water hardness, differential pressure, and conductivity. Finally, to address the proposal, historical and logical methods, analysis-synthesis, as well as experimental programming and simulation methods were used to establish a proposal that guarantees effective control and comprehensive supervision of critical variables in the process, ensuring quality standards and compliance with regulations.*

## **Key-words:**

*Supervisory Control, Programmable Logic Controller (PLC), Human Machine Interface (HMI), Temperature Control, Total Hardness Control, Conductivity Control.*

## ÍNDICE

Dedicatoria .....	4
Agradecimientos .....	5
Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas .....	I
Listado de imágenes.....	II
Listado de tablas.....	III
Resumen .....	IV
<i>Abstract</i> .....	V
ÍNDICE .....	I
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUA DE LA REFINERÍA DE PETRÓLEO “HERMANOS DÍAZ” DE SANTIAGO DE CUBA. ....	5
1.1 Generalidades sobre el proceso de tratamiento de agua en refinerías de petróleo. ....	5
1.2 Descripción de la UEB Facilidades Auxiliares de la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba. ....	6
1.3. Descripción del flujo tecnológico de la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba. ....	8
1.2.1. Entrada o captación del agua cruda. ....	9
1.2.2. Tanque de precipitación.....	9
1.2.3. Adición de óxido de cal y sulfato de aluminio. ....	10
1.2.4. Filtros de antracita. ....	12
1.2.5. Ablandadores de zeolita. ....	12
1.2.6. Deareador.....	13
1.2.7. Normativas de la empresa para el tratamiento de agua. ....	14
1.3. Sistemas de automatización industriales. ....	15
1.3.1. Automatización industrial a escala global. ....	16

1.3.1. Importancia de la automatización en los procesos productivos industriales.....	16
1.4. Generalidades de los Autómatas Programables.....	17
1.4.1. Funciones que desempeñan los PLC.....	18
1.4.2. Ventajas del empleo de los PLC.....	19
1.4.3. Lenguajes de programación compatibles con la norma IEC 61131-3.....	19
1.5. Generalidades sobre sistemas de Control de la Supervisión y Adquisición de Datos.....	20
1.5.1. Funciones principales de un sistema SCADA.....	20
1.5.2. Importancia de los sistemas SCADA a escala global.....	21
1.5.3. Requisitos para un sistema SCADA.....	22
1.5.4. Normativas generales de supervisión en procesos industriales.....	22
1.5.5. Los sistemas SCADA a nivel internacional.....	24
1.6. Sistema de supervisión y control WinCC Basic.....	24
1.7. Generalidades sobre las redes de comunicaciones industriales.....	24
1.7.1. Protocolos de comunicaciones industriales.....	25
1.7.2. Importancia de las comunicaciones en procesos industriales.....	27
Conclusiones Parciales.....	27
<b>CAPÍTULO 2. DISEÑO DE SISTEMA SCADA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUA DE LA REFINERÍA DE PETRÓLEO “HERMANOS DÍAZ” DE SANTIAGO DE CUBA.....</b>	<b>29</b>
Introducción del capítulo.....	29
2.1. Nivel de automatización en la Empresa Refinería de Petróleo de Santiago de Cuba.....	29
2.2. Estado actual de la Planta de Tratamiento Químico de Agua.....	29
2.3. Algoritmo para el control automático de las variables que rigen el proceso de Tratamiento Químico de Agua.....	31
2.4. Diseño del sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos.....	32

2.4.1. Configuración general y seguridad del sistema SCADA. ....	33
2.4.2. Comunicación para la supervisión del proceso.....	33
2.4.3. Declaración de variables. ....	34
2.4.4. Pantalla de Bienvenida. ....	35
2.4.5. Control de Acceso. ....	36
2.4.6. Panel de Control Principal. ....	36
2.5.8. Panel de Operación Manual. ....	37
2.5.10. Análisis de Calidad y Producción.....	38
2.5.11. Ajuste de Parámetros de Control.....	39
2.5.12. Gestión de Alarmas. ....	39
2.5.13. Registros Históricos. ....	40
2.6. Valoración económica de la propuesta. ....	41
2.7. Valoración medioambiental de la propuesta. ....	42
Conclusiones Parciales.....	43
CONCLUSIONES .....	44
RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	46
ANEXOS.....	47

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas de producción industrial demandan la presencia de una alta tecnología en sus procesos, que garantice una alta eficiencia y un elevado índice de calidad. Aunque en la era tecnológica actual se pueden manipular los procesos de forma manual y automática, las industrias a día de hoy optan más por técnicas automatizadas, puesto que estas permiten minimizar los costos, aumentar la eficiencia y agilizar procesos que son cada vez más complejos; al servir de herramientas para aprovechar al máximo las materias primas y de esta manera poder obtener un producto de óptima calidad.

El uso de sistemas supervisorios tuvo inicio en el comienzo de los años 80. En esta época, las computadoras de escritorio todavía eran provistas de poco poder computacional, otras plataformas de hardware ocupaban el espacio en proyectos de automatización. Controladores dedicados y minicomputadores eran comúnmente encontrados en proyectos más sofisticados principalmente en sistemas de Energía y Petróleo, ya que el costo de estas plataformas inviabilizaba su adopción en larga escala o en proyectos de menor porte [1].

Un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), es una aplicación de software especialmente creado para ejecutar en los computadores para el control de la producción, suministrando comunicación con dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática utilizando ventanas del computador. También suministra todas las informaciones que son generadas en el proceso productivo para que los diferentes usuarios puedan acceder a esta; como el control de calidad, control de la Producción, almacenamiento y procesamiento de datos e información industrial, etc. En los últimos 4 o 5 años nuevas funcionalidades fueron lanzadas, principalmente para facilitar la configuración de los sistemas y la conectividad de los mismos. Parte importante de la inversión de los suministradores de supervisorios se dio en el desarrollo de herramientas complementarias a los supervisorios, que se aprovechan de su capacidad de comunicación y gerenciamiento de datos para traer a los clientes soluciones de mayor valor agregado. Es curioso ver que los supervisorios están tornándose plataformas robustas, para el desarrollo de una nueva capa de aplicativos [1].

En territorio cubano existen 4 refinerías, ubicadas en: La Habana (Ñico López), Cienfuegos (Camilo Cienfuegos), Sancti Spíritus (Sergio Soto) y Santiago de Cuba (Hermanos Díaz). Estas tienen como objetivo principal contribuir al abastecimiento de la demanda en derivados del petróleo, para el territorio oriental [1].

La Empresa Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz”, pertenece a la Unión Cuba Petróleo **CUPET**, cuyo nombre honra a los hermanos Emiliano y Carlos Manuel Díaz, mártires de la dictadura batistiana. Esta empresa pertenece al Ministerio de Energía y Minas, comenzó su explotación en junio de 1957 por *The Texas Company*, subsidiaria en Cuba del monopolio Texaco. El 28 de junio de 1960 el Gobierno Revolucionario Cubano procede a la intervención de la refinería y a su posterior nacionalización. Esta refinería se encuentra ubicada en carretera de Mar Verde, Km 7 ½, de Santiago de Cuba, sus instalaciones ocupan 136 hectáreas. En la actualidad está integrada por seis direcciones funcionales y ocho Unidades Empresariales de Base (UEB). Esta empresa tiene la gran responsabilidad de refinar petróleo crudo para convertirlo en los siguientes derivados: Gas Licuado de Petróleo, Solvente Nafta Especial, Nafta Solvente Reductor de Viscosidad, Nafta (Hidrolizada y Componente), Gasolina Motor, Queroseno, Turbocombustible, Combustible Diésel, Combustible Diésel Marino, Gasóleo Pesado de Vacío, Petróleo Combustible, Cemento Asfáltico, Asfalto Diluido [1].

Esta Entidad tiene la misión de producir y comercializar derivados del petróleo con énfasis en la calidad y el cuidado del medio ambiente, mediante la mejora continua y un uso racional de los recursos, a fin de satisfacer las necesidades del mercado nacional, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país. Pretende ser una empresa con altos niveles de producción, eficiencia y seguridad en sus instalaciones, sustentada en la modernización de sus procesos tecnológicos y un capital humano altamente calificado y comprometido [1].

Dentro de las Plantas de Tratamiento Químico de Agua ocurren procesos que, permiten resolver de forma óptima los requisitos de la calidad del agua para ser utilizada en cualquier industria. Estos procesos favorecen al cuidado de los diferentes equipos industriales con los que interactúa el agua tratada. Con esta finalidad es que se requiere de tecnología moderna que brinde mayor seguridad y permita un mayor tiempo de explotación a los equipos industriales. La actividad

operacional de la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Empresa Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” se ve limitada al empleo de tecnologías obsoletas que derivan en insuficiencias del proceso y por tanto en una disminución considerable de la calidad de los parámetros físicos-químicos del producto final. La producción de agua tratada en la empresa se sustenta en gran medida por la experiencia de personal calificado que, frente a las insuficiencias de la Planta, logran con esfuerzos la vida activa de esta. La empresa tiene implementado, en otras áreas, sistemas de supervisión y control seguros, que garantizan mayor eficiencia y operatividad de sus procesos. Generalizar estos sistemas es una tarea prioritaria de la máxima dirección de la entidad, en aras de construir una industria 4.0.

Por lo expuesto anteriormente, en esta investigación se propone resolver como:

**Problema de la investigación:** ineficiencias en los procesos, actividad operacional, sistema de control y supervisión en la Planta de Tratamiento Químico de Agua en la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.

**Objeto:** El sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua.

**Objetivo:** Diseñar un sistema SCADA, sobre la base de la plataforma WinCC Basic, para la Planta de Tratamiento Químico de Agua en la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba, de acuerdo a la propuesta de automatización realizada para los procesos que intervienen en ella.

**Campo de acción:** El sistema SCADA sobre WinCC Basic.

Idea a defender: Si se implementa el sistema SCADA que se propone, en la Planta de Tratamiento Químico de Agua, en la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba, aumentará la eficacia de su actividad operacional y se realizarán los procesos con alto índice de eficiencia, lo que se traduce en el óptimo estado de calidad del producto final.

**Métodos y técnicas empleados en la investigación:**

- Técnicas y métodos empíricos: Observación, encuesta y entrevista.
- Método histórico-lógico.

- Método de análisis - síntesis.
- Métodos experimentales: Programación y simulación.

#### **Tareas de la investigación:**

1. Realizar una investigación detallada sobre el funcionamiento actual de la Planta de Tratamiento Químico de Agua, en la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.
2. Realizar una búsqueda bibliográfica actualizada sobre el manejo de Plantas de Tratamiento de Agua, en refinerías de petróleo, a escala global.
3. Caracterizar los sistemas supervisorios desde el punto de vista conceptual, histórico y actual.
4. Definir aspectos teóricos funcionales del software WinCC Basic.
5. Diseñar un sistema SCADA para el control automático y supervisión de variables fundamentales que intervienen en el proceso de tratamiento de agua.
6. Simular el sistema diseñado.

#### **Aporte de la investigación:**

El diseño de un sistema SCADA sobre WinCC Basic, que corresponda con la propuesta de automatización desarrollada en la Planta de Tratamiento Químico de Agua, de la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba, que garantice un mayor nivel de eficiencia en los procesos que intervienen en ella y que permita elevar la calidad del producto final.

#### **Estructura del trabajo:**

CAPÍTULO 1. Fundamentación teórica del diseño de un sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Refinería de petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.

CAPÍTULO 2. Diseño de sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Refinería de petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.

# **CAPÍTULO 1. Fundamentación teórica del diseño de un sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Refinería de petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.**

## Introducción del capítulo

En el presente capítulo se abordarán diversos temas referentes a la Empresa Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba, los cuales tienen estrecha relación con la problemática expuesta. Se exponen contenidos relacionados al funcionamiento de las Plantas de Tratamiento Químico de Agua a escala global, enfatizando en las características del flujo tecnológico de la Planta de Tratamiento de Agua de esta empresa. Además, se expone información referente a los sistemas SCADA, los sistemas de automatización industriales y las redes de comunicación.

### **1.1 Generalidades sobre el proceso de tratamiento de agua en refinerías de petróleo**

El grado de pureza del agua requerida en una refinería de petróleo depende del uso particular que se le vaya a dar a esta. El tratamiento preliminar de toda el agua cruda que ingresa a una planta puede incluir cribado (remover objetos grandes que provienen en el agua residual) y sedimentación para eliminar los sólidos suspendidos, pero el tratamiento posterior dependerá del uso final. El agua de alimentación de calderas, necesarias para la generación de vapor en una refinería, debe tratarse antes de su uso. Cuanto mayor sea la presión del vapor que se genera, mayor será la pureza del agua requerida. Normalmente el agua se trata mediante el proceso de cal-soda y se purifica adicionalmente mediante intercambio iónico o mediante tratamiento con fosfato caliente para producir agua de alimentación de calderas. La ósmosis inversa también se puede utilizar para ablandar el agua. Normalmente, se elimina una corriente de purga de los sistemas de purificación de agua para evitar la acumulación de contaminantes. Esta corriente de purga se envía al tratamiento de aguas residuales y se reemplaza por agua fresca de reposición. [2]

## 1.2 Descripción de la UEB Facilidades Auxiliares de la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba

El flujo productivo de la UEB Facilidades Auxiliares está conformada por tres etapas:

- Sistema de alimentación de agua a las calderas y generación de vapor.
- I. Tratamiento físico - químico del agua: El proceso ocurre mediante el tratamiento realizado de cal en frío y sulfato de aluminio para disminuir la dureza temporal del agua en un 50% aproximadamente en el precipitador. Posteriormente pasa por los filtros mecánicos para disminuir la turbidez, de aquí circula a los intercambiadores de zeolita de sodio para intercambiar los iones de calcio y magnesio, cediendo el sodio, el cual combinado con los iones correspondientes no es incrustante a la temperatura del domo de las calderas. Luego, esa agua blanda pasa al Deareador, donde se reduce el oxígeno disuelto por la ebullición del agua, provocada por la inyección de vapor de baja presión y además por la adición de sulfito de sodio, el cual reacciona con el oxígeno dando como resultado sulfato de sodio [1].
- II. Generación de vapor: Existen tres calderas de construcción americanas GB-1, GB-2 (pendiente de mantenimiento) y GB-3. El agua entra al domo superior de cada caldera por debajo del nivel del agua y desciende por la pared lateral de agua hacia el domo inferior. El vapor formado dentro de los tubos asciende al domo y abandona a este, a la temperatura de saturación del vapor y a una presión de hasta 17,6 kgf/cm<sup>2</sup>. Estas calderas son de circulación natural, o sea, la circulación está basada en la diferencia de la densidad del agua y la mezcla agua- vapor, están diseñadas para producir 20 t/h. Tanto el agua de alimentación como el vapor producido disponen de metros registradores de flujo. En las calderas también se lleva a cabo un tratamiento químico interno, el cual consiste en añadir fosfato de sodio al agua de las mismas en el domo superior, con el objetivo de evitar incrustaciones debidas a los residuos de sales de calcio y magnesio que puedan haber quedado, después del proceso de ablandamiento ya que las sales de Calcio y Magnesio se hacen insolubles a las temperaturas existentes en el domo. Luego se pasa a la etapa de deareación donde se le extrae el oxígeno al agua. El vapor vivo que debe estar en un rango de 15 - 17,6 kgf/cm<sup>2</sup> es utilizado en diferentes áreas. El

vapor de escape retornado de las unidades de proceso es utilizado en el deareador y el exceso descargado a la atmósfera. El vapor condensado es almacenado en el tanque 183, lo cual permite inyectarlo directamente al intercambiador iónico, debido a que es un agua tratada y así reducir el consumo de agente químicos en el precipitador [1].

- Sistema de almacenamiento y precalentamiento del petróleo combustible. El combustible (Fuel Oil Extrapesado) es almacenado en los tanques 110 y 111, los cuales se encuentran ubicados en el área de las calderas. El petróleo combustible se suministra de los tanques de almacenaje con la facilidad de una línea directa desde la descarga de la bomba NP- 11, NP-11A y NP-11B hasta estos [1].

El petróleo combustible circula a través de las bombas rotativas de vapor o de dos bombas centrífugas eléctricas del tanque que se encuentra en operación y se envía hacia los intercambiadores de calor con vapor vivo, donde se le da temperatura de acuerdo a la viscosidad que tenga el producto (analizada en el laboratorio). Con la temperatura deseada y presión de 8,1- 12 kgf/ cm<sup>2</sup> el combustible es enviado hacia las unidades de proceso. El consumo en las calderas es medido por los metros que se registran en la Sala de Control [1].

- Sistema de enfriamiento del agua y bombeo.

El sistema de agua de enfriamiento es de circulación cerrada, consta de una torre de enfriamiento de tiro inducido de tres celdas simétricas, rellenas con ladrillos de cerámica que poseen cada una un ventilador, situado en la parte superior y un bacín en la parte inferior. En el interior de esta, el agua es dividida en finas partículas por los rociadores, lo que facilita el intercambio de calor con el aire ascendente que es succionado por los ventiladores y descargada a la atmósfera a mayor temperatura y con un alto contenido de humedad. Como resultados de este proceso se recolecta el agua en el bacín de la torre a una menor temperatura. Las bombas de agua de recirculación toman el agua del bacín de la torre y la impulsan a las diferentes unidades a una temperatura que puede oscilar entre 28 - 34°C, según las condiciones meteorológicas y presión de 5,28 kgf/cm<sup>2</sup> pasando por los enfriadores, condensadores y sistemas de los equipos dinámicos, donde absorbe calor, aumentando su temperatura hasta 49 °C. El

agua retorna a través de una línea de distribución en la parte superior de la torre, donde alcanza nuevamente su temperatura inicial [1].

### **1.3. Descripción del flujo tecnológico de la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba**

El agua cruda procede del tanque (TK- 180) a través de una línea de 254 mm, descendiendo por gravedad hasta el precipitador, donde mediante un tratamiento de cal en frío y sulfato de aluminio se reduce la dureza del agua en un 40-50 % aproximadamente, para evitar la fragilidad caústica que es una de las causas de ponche en las calderas.

La adición de cal y sulfato de aluminio se realizan mediante bombas. Ambas se unen al agua de entrada al precipitador con la finalidad de convertir los bicarbonatos de calcio y magnesio en carbonatos neutros insolubles y transformar en hidróxidos insolubles las sales de magnesio; pasando a través de un mezclador hacia la cámara de reacción, donde se elimina parte de la dureza. Luego el agua asciende permitiendo que más partículas descendan, pasando así al pozo limpio donde a través de las bombas GP-3, GP-3 A (turbinas) y GP-3B, GP-3C (motor eléctrico) trasladan el agua hasta llegar a los filtros mecánicos, con la finalidad de hacerla apropiada para la alimentación de las calderas. Después que el agua es clarificada en los filtros pasa a un sistema de ablandadores de zeolita de sodio, donde se lleva a cabo la suavización por intercambio iónico, mediante ciertos cuerpos insolubles que poseen la propiedad de fijar los iones de calcio y magnesio que no pueden ser eliminados en el precipitador. El agua después de pasar por el sistema de ablandadores tiene una dureza total de hasta 5 partes por millón (ppm) y es considerada como agua de calidad para la alimentación de las calderas. Posteriormente es enviada hacia el Deareador, quien además de calentar el agua, extrae el oxígeno, el óxido de carbono y otros gases no condensables, antes que sea introducida en la caldera, con el objeto de prevenir la corrosión a las partes metálicas de la caldera. El agua ya estando dentro del deareador se vuelve a tratar por formas química y física. Luego el agua de alimentación es enviada desde el Deareador mediante bombas a una temperatura de 100 °C hasta 104 ° C y una presión de 21.1 Kgf/cm<sup>2</sup> y 25 Kgf/cm<sup>2</sup> hacia el domo superior de cada caldera [1].

### **1.2.1. Entrada o captación del agua cruda**

El agua que se consume en la Refinería es suministrada por los pozos que se encuentran situados próximos a la misma. Los pozos que actualmente se encuentran explotables son los No. 147, 211 y 212 que son los pozos de mejor calidad. El agua almacenada en el tanque 180 se distribuye a la Refinería a través de 4 sistemas fundamentales [1].

- Agua de servicio.
- Agua potable.
- Agua de alimentación a las calderas (explicado anteriormente).
- Agua de enfriamiento (explicado anteriormente).

#### Sistema de agua de servicio

El agua de servicio proviene del tanque 180 y a través de una línea de 25,4 cm se almacena en el tanque 182, desde donde se envía mediante bombas eléctricas a las áreas [1].

#### Sistema de agua potable

El agua potable proviene de la línea de 25.4 cm (10 plg) que suministra agua a la Refinería y se almacena en el tanque 181 el cual se encuentra interconectado al tanque 180. El agua es enviada al muelle y al laboratorio de combustible de la Refinería por medio de bombas [1].

### **1.2.2. Tanque de precipitación**

Primeramente, es necesario que se llene el precipitador con agua cruda hasta que el nivel en el pozo limpio sea aproximadamente el mismo con relación al nivel del precipitador. Cuando la demanda se altera, el nivel del pozo claro variará y la válvula de control a la entrada variará el flujo de agua, este control se realiza mediante un controlador de nivel antiguo. La válvula de control posee un contacto integrador que registra el flujo de agua, el cual cierra después de pasar un volumen definido de agua para iniciar la dosificación de productos químicos.

El lodo concentrado es extraído intermitentemente. La instalación está prevista de un sistema de contralavado con el fin de limpiar la línea inmediatamente después de la operación de extracción. Cuando la planta opera a una capacidad

de 193 m<sup>3</sup>/h la extracción del lodo se realiza cada 4 minutos, seguido por un contralavado hacia el drenaje de 18 segundos, repitiéndose esta operación por intervalo de 20 minutos aproximadamente. La razón óptima de extracción del lodo es de 32,9 m<sup>3</sup>/m (145 gpm) durante 4 minutos para un flujo de agua de 193 m<sup>3</sup>/h.

El nivel del colchón de cal tiene que mantenerse ajustado para una velocidad ascenso-descenso extremadamente lenta. Cuando el nivel del colchón cae por debajo del valor prescrito el sistema de extracción tiene que ser parado hasta que se alcance el nuevo valor deseado. El óptimo nivel del colchón para las condiciones de diseño está entre 1,22 m – 1,83 m, si el precipitador opera con variaciones en la razón de flujo tiene que mantener bajo el nivel del colchón para evitar arrastres [1].

### **1.2.3. Adición de óxido de cal y sulfato de aluminio**

Para la alimentación de la cal, la misma es almacenada en una tolva con lados inclinados. Para llevar la cal se utiliza un transportador de cangilones de descarga continua. El transportador es movido por un motor situado en la parte superior del recipiente donde se depositan los sacos de cal para ser elevados. Como la cal tiene tendencia a adherirse a las paredes se dispone de un cono o manga que es movido ligeramente por un vibrador, instalado a un lado de la tolva. En la parte inferior de la tolva se encuentra instalado un transportador de tornillo sinfín el cual es el encargado de alimentar la cal deseada. Cuando el contacto del metro cierra, el motor alimentador operará por un período de tiempo para el cual el medidor de tiempo ha sido fijado, liberando un volumen de cal determinado. La cal cae dentro de una cámara de mezclado y disuelta por un chorro de agua, con una presión dada controlada automáticamente por una válvula de diafragma, a fin de mantener una definida relación entre el agua y la cal. Esta agitación se realiza con dos agitadores eléctricos horizontales.

La solución se envía al precipitador por dos bombas eléctricas. Cada alimentador esté provisto con un conmutador que posibilita la operación en control automático o normal. Cuando la tolva es llenada, el vibrador tiene que ponerse en operación por lo menos durante 20 minutos para evitar la compactación y se adhiera a las paredes. El medidor del tiempo es del tipo ATC

dial de 60 segundos. La escala del dial consta de divisiones; por tanto, cada división es equivalente a 0,5 segundos (120 divisiones). Para alimentación continua existe un ajuste de 0-100 % de capacidad por medidor de un variador de velocidad incluido dentro del mismo equipo. Las características del variador de velocidad y el mecanismo de alimentación es tal que existe una relación lineal entre la cantidad de cal alimentada y prefijada en el dial de alimentación. El dial de alimentación es calibrado de 0-40. Sin embargo, no se recomienda fijar valores por encima de 30. La cantidad de cal para alimentar podrá ser variada de dos formas:

- Variando el valor prefijado de la velocidad de alimentación.
- Variando el valor prefijado en el medidor de tiempo.

Todos estos ajustes deben que hacerse basándose en pruebas químicas del agua a tratar.

Para preparar el coagulante, se le echa agua al tanque dispuesto para este fin hasta la mitad aproximadamente y se descarga una cantidad determinada de sulfato de aluminio al tanque. Se comienza a agitar con aire hasta la disolución total. Se ajusta la embolada de la bomba para dosificar un volumen constante de solución. La dosificación es efectuada de acuerdo al flujo que pasa a través del metro, el cual envía una señal al medidor de tiempo de sulfato de aluminio, operando la bomba durante el tiempo para el cual fue prefijado, manteniendo de esta forma la dosificación deseada.

La cantidad de solución química puede ser regulada de dos formas:

- ✓ Ajustando el volumen de la solución química enviada por la bomba por: regulación de la longitud de embalada de la bomba. También variando la duración de la operación de bombeo por el ajuste del valor prefijado del medidor de tiempo.
- ✓ Ajustando la concentración de la solución química en el tanque. Después que la alimentación de sulfato de aluminio ha estado en operación, durante un período de tiempo suficientemente largo, que se observen los resultados la adición puede ser ajustada; para obtener mejores resultados los cuales se logran haciendo pequeñas correcciones a la embalada de la bomba [1].

#### **1.2.4. Filtros de antracita**

Una vez en los filtros se eliminan los posibles vestigios de cal y aluminio que han sido arrastrados, así como otras materias en suspensión, saliendo el agua clarificada hacia los ablandadores de zeolita.

Cuando los filtros han estado en servicio durante algún tiempo, los sólidos acumulados en los pequeños espacios del material filtrante, llegan a obstruir el paso del agua, reduciendo notablemente el flujo de la misma, esto es observado por la caída de presión a través de cada filtro; la cual no puede ser superior a 1kgf/cm<sup>2</sup>, en caso que sea superior se debe de activar una alarma. En los ablandadores de zeolita se lleva a cabo la suavización por intercambio iónico, utilizando la zeolita de sodio, por lo que no se provoca incrustaciones en las calderas. El agua después de pasar por el sistema de ablandadores tiene una dureza total de hasta 5 partes por millón ppm y es óptima para la alimentación de las calderas [1].

#### **1.2.5. Ablandadores de zeolita**

Cuando el agua contiene sales de calcio y magnesio en solución, se pasa a través de un intercambiador iónico de sodio en el intercambiador formando iones de calcio y magnesio los cuales son retenidos en la cama del ablandador. El sodio liberado en este intercambio iónico se combina con los cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos y pasa al agua. Durante este proceso el agua entra por el tope del ablandador y pasa a través de la cama, saliendo por el fondo. Cuando el sodio no es suficiente en el ablandador para reemplazar el calcio y el magnesio, el flujo de agua en el ablandador se tiene que detener y proceder a restablecer las condiciones de operación mediante una regeneración. La secuencia de la operación consiste en tres etapas: contralavado, regeneración y lavado. Las etapas de contralavado y regeneración se realizan con agua de mar que es filtrada previamente en filtros de arena para eliminar cuerpos extraños [1]. La unidad tiene que contravalarse, haciendo pasar un flujo de agua de mar por el fondo del equipo, hacia arriba a través de la cama saliendo por el tope. Esto se hace con el objetivo de expandir la cama, de tal forma que los granos de zeolita se suspendan en el agua, rompiendo cualquier empaquetamiento que pueda haber ocurrido durante la operación. Con esta operación también se eliminan materias extrañas las cuales pueden ser colectadas en el tope de la

cama debido a la acción de filtración, así como algunas partículas finas de las sustancias intercambiadoras, las cuales salen con el agua de contralavado. Es muy importante mantener la velocidad de contralavado dentro de los límites establecidos [1].

El calcio y el magnesio son removidos en el intercambiador iónico y reemplazados por el sodio, pasando agua de mar filtrada por el tope del equipo a través de la cama, saliendo por el fondo, esta es la etapa de regeneración. El tiempo de contacto es muy importante y se recomienda que el volumen de agua de mar usado en la regeneración sea el suficiente como para suplir todo el sodio necesario en el intercambio, de forma tal que no reduzca la capacidad de la resina para la siguiente operación [1].

#### **1.2.6. Deareador**

El deareador tiene como función calentar el agua y extraerle aproximadamente entre 90-95 % del oxígeno originalmente disuelto en el agua, además se extrae dióxido de carbono y otros gases no condensables, antes que sea introducida en las calderas, con el objeto de prevenir la corrosión de estas.

En el deareador el agua es calentada también con vapor de escape, pero en este caso el vapor se inyecta directamente a la masa del líquido por un lateral del cuerpo del deareador. La temperatura del agua de salida alcanza los 104 °C. Para eliminar aún más el oxígeno disuelto en el agua se realiza la inyección del sulfito de sodio utilizando la bomba, este producto es inestable y muy ávido de oxígeno, elemento con el cual reacciona para formar el sulfato de sodio. El sulfito de sodio se disuelve en agua tratada en un tambor, al cual se le suministra vapor para facilitar la disolución y se prepara de acuerdo a una tabla que relaciona la producción de vapor con los kilogramos de sulfito a inyectar de acuerdo a la producción de vapor y manteniendo el valor del residuo de sulfito de sodio en el agua del deareador según los valores normados. Esta agua es enviada luego a las calderas por la bomba que se encuentra a la salida del deareador a una presión de 25 kgf/cm<sup>2</sup> [1].

### 1.2.7. Normativas de la empresa para el tratamiento de agua

Tabla 1. Valores normados para el Sulfato de Aluminio

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Contenido de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % m/m	173-0,3	-
PH de la solución al 1%, P/V	-	2,8
Contenido de Hierro, % m/m	-	0,01
Contenido de materiales insolubles de agua, %	-	0,3

Tabla 2. Valores normados para la Cal hidratada

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Cal utilizable como Ca (OH) <sub>2</sub> , % m/m	80	-
Óxido de Magnesio, % m/m	-	1,5
Óxido de Silicio, % m/m	-	1,0
Óxido de Hierro, % m/m	-	0,5
Contenido de arena, % m/m	-	0,1

Tabla 3. Parámetros del agua proveniente del tanque 180

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Dureza total (Dt), mg/l	550	-
Dureza cálcica (Dc), mg/l	350	-
PH	7.5	7.0
Total de Sólidos Disueltos (STD), mg/l	1000	-
Cloruro (Cl), mg/l	100	-

Tabla 4. Parámetros del agua a la salida del precipitador

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
PH	9.7	9.0
2p-m, mg/l	10	0
Capacidad	193 m <sup>3</sup> /m (850 gpm)	-

Tabla 5. Parámetros del agua a la salida de los ablandadores

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Flujo, m <sup>3</sup> /h	51.6	-
Flujo de lavado, m <sup>3</sup> /h	34.1	-
Flujo de enjuague, kg/cm <sup>2</sup>	7.04	-
Dureza total, mg/l	5	0
Cloruro, mg/l	58	-

Tabla 6. Parámetros del agua a la salida del deareador

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
PH	9,5	9.0
SO <sub>3</sub> , mg/l	6.0	4,0
O <sub>2</sub> Disuelto, mg/l	0.1	-
Nivel Operacional del Deareador, %	60	40

Tabla 7. Parámetros sobre los filtros de antracita

<b>Parámetros especificados</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Presión de operación, (kgf/cm <sup>2</sup> )	7.04	-
Capacidad para cada filtro, m <sup>3</sup> /h	26.1	-
Flujo a través del desagüe de lavado, m <sup>3</sup> /h	87.4	-
Distribución de la antracita en el filtro de arriba hacia abajo en mm.	26.1	-

### 1.3. Sistemas de automatización industriales

La automatización industrial, llevada a cabo por sus diferentes etapas de desarrollo, es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control, de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. Un sistema automatizado consta de dos partes principales. La Parte Operativa, constituida por elementos que actúan directamente sobre la máquina, como motores, cilindros, compresores y

sensores. La Parte de Mando suele ser un autómata programable, relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos.

La automatización es una evolución de la mecanización en la industria, que utiliza dispositivos de alta capacidad de control para lograr procesos de fabricación o producción eficientes. Debido a los rápidos avances tecnológicos, los sistemas de procesamiento industrial con la llamada industria 4.0 o cuarta revolución industrial están cambiando la forma de producir de estas compañías. El control informatizado de la producción para aumentar la precisión, calidad y rendimiento de los procesos industriales se ha convertido en un actor principal de las empresas de fabricación y producción [3].

### **1.3.1. Automatización industrial a escala global**

La automatización industrial a escala global es un fenómeno que ha transformado significativamente la forma en la que se llevan a cabo los procesos de producción en diversos sectores industriales. Su impacto a escala global hace referencia a la implementación de tecnologías y sistemas automatizados en las operaciones de fabricación y producción en todo el mundo. Se utiliza en una amplia gama de industrias, como la automotriz, electrónica, alimentaria, petroquímica, farmacéutica, entre otras. La adopción de la automatización industrial ha sido impulsada por diversos factores, como la búsqueda de mayores niveles de eficiencia, calidad, productividad, y seguridad. Dentro de esta se encuentra el uso de la robótica industrial, el internet de las cosas, los avances de la llamada industria 4.0 y los diferentes estándares y protocolos de comunicación.

### **1.3.1. Importancia de la automatización en los procesos productivos industriales**

En los mercados actuales globalizados y competitivos, cada vez la automatización de procesos industriales es más vital, sin importar el tipo de sector. Logrando que las empresas sean más rentables, eficientes y tengan un gran control de calidad en todo momento. Incluso, la automatización permite ganar tiempo en tareas tediosas como el ingreso de documentos, el archivado y la búsqueda, entre otras. Al incluirla el proceso se convierte en uno más productivo. Ya sea que este proceso sea de forma total o parcial, genera

múltiples beneficios, entre los que destacan la repetición de contantes tareas, mayor calidad de producción, reducción de costes, control de todos los procesos y reparación remota. También permite un uso eficiente de la energía y la materia prima utilizada para el producto, así como una producción flexible y escalable dependiendo de las necesidades del mercado [4].

#### **1.4. Generalidades de los Autómatas Programables**

El Controlador Lógico Programable (*Programmable Logic Controller*, PLC) es un equipo electrónico programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales. El PLC por sus características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y el software amplía continuamente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración del mismo, hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción prácticamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Instalaciones de procesos amplios y complejos.
- Chequeo de programación centralizada.

#### Características generales de un sistema empleando PLC

- ✚ Modularidad (Estructura modular): Todos los componentes del sistema de automatización son desmontables, mediante conectores en módulos de hardware que cumplen determinadas funciones dentro del sistema. Esto permite la adecuación al proceso automatizado. También permite máxima automatización con el mínimo de costos. Además, permite una rápida reparación de averías dentro del sistema, teniendo un juego de módulos estándar de repuesto que se puede colocar en cualquier parte con rapidez.

- ✚ Programabilidad: La mayoría de estos módulos son sistemas a microprocesadores, que permiten elaborar la mayor parte de sus interrelaciones funcionales mediante software. Esto permite lograr prácticamente lo que se desee en el funcionamiento del sistema, pudiendo utilizarse un mismo módulo estándar para cualquier aplicación industrial, agrícola, turística, biotecnológica, administrativa, económica o de servicio. Estandariza los módulos de repuesto reduciendo el volumen de los mismos en almacén, aumentando la seguridad del sistema.
- ✚ Capacidad de modificación y ampliación: La característica de modularidad y programabilidad, dan lugar a otra posibilidad importante, la facilidad de ir adicionando nuevos módulos o PLCs a la red y ampliar el programa de la aplicación. Esto permite modificar también el sistema existente sin necesidad de costo adicional alguno.
- ✚ Fiabilidad y autodiagnóstico: Estos sistemas están protegidos por hardware y software frente a errores del operador (de conexión y programación) e inmunidad frente a ruidos o señales perturbadoras. Disponen de alarma e indicación de desperfectos internos del hardware y el software. Mantienen vigilancia de problemas en el circuito externo (líneas en cortocircuitos o cables abiertos, incluso facilidades de vigilar el proceso y a la vez proteger el mismo de acciones erróneas que pueden dañar la instalación). Las facilidades de modularidad y programación permiten crear estructuras redundantes y sistemas de alta fiabilidad con relativa sencillez.
- ✚ Facilidades de mantenimiento y reparación: Se puede programar con obligatoriedad los mantenimientos periódicos de la instalación (el PLC prácticamente no los necesita). Mediante el autodiagnóstico, los textos de aviso y otras facilidades del programa usuario se pueden lograr rapidez y seguridad en la reparación creando el detectado automático de averías.
- ✚ Robustez frente a sollicitaciones mecánicas y ambientales severas [5].

#### **1.4.1. Funciones que desempeñan los PLCs**

- Control secuencial y de trabajo de distintos procesos. Facilidades de modificación y perfeccionamiento del sistema de automatización del proceso.

- Control de regímenes de arranque y parada del proceso y funcionamiento en condiciones de alarma o avería. Medición, conversión, filtraje y validación de señales analógicas del proceso para indicación, registro y control.
- Facilidades para el funcionamiento como maestros o esclavos de redes de automatización. Sistemas de autodiagnóstico, autoprotección y determinación de fallas dentro y fuera del equipo [6].

#### **1.4.2. Ventajas del empleo de los PLCs**

- Son diseñados y contruidos para su aplicación en ambiente industrial. Son equipos flexibles por su carácter programable.
- Poseen gran capacidad de procesamiento de información. Permiten amplio número de entradas y salidas.
- Las operaciones son controladas por software. Puede conectarse a una computadora, permitiendo tener interfaces gráficas de usuarios, con animaciones del proceso en tiempo real.
- Posibilitan gobernar varias máquinas con el mismo autómeta. Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, al autómeta sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción [7].

#### **1.4.3. Lenguajes de programación compatibles con la norma IEC 61131-3**

La mayoría de los sistemas PLC se adhieren al estándar IEC 61131-3 que define 2 lenguajes de programación textual: Texto Estructurado (ST, similar a Pascal) y Lista de Instrucciones (IL, similar al ensamblador); así como 3 lenguajes gráficos: *Ladder Diagram (LD, diagrama de escalera)*, *Function Block Diagram (FBD, diagrama de bloques de funciones)* y *Sequential Function Chart (SFC o GRAFCET, tabla de funciones secuenciales)*.

□ Lista de instrucciones (IL): es un lenguaje de texto donde cada línea de programa contiene una sola instrucción y su ejecución es secuencial. Todos los operadores trabajan con un registro oficial llamado acumulador.

□ Texto estructurado (ST): Lenguaje de alto nivel, estructura en bloques. Posibilidad de usar expresiones complejas e instrucciones anidadas.

□ Diagrama de bloques funcionales (FBD): lenguaje gráfico, que permite elementos de programa que se unen en forma análoga a compuertas lógicas en

un circuito electrónico. Cada función lógica tiene asociado un bloque funcional que realiza la operación que corresponde.

□ Diagrama de escalera (LD): se compone de una serie de instrucciones gráficas específicas, relacionadas entre sí mediante conexiones horizontales y verticales que conducen a una o varias salidas y/o acciones, situadas entre las dos barras verticales que representan la diferencia de potencial.

□ Diagrama funcional secuencial (SFC): es un lenguaje orientado gráficamente que describe el orden cronológico de acciones concretas en un programa. Estas acciones están disponibles como objetos de programación independientes, y están escritas en cualquier lenguaje de programación disponible. En SFC, esas acciones se asignan a elementos de paso y los elementos de transición controlan la secuencia de procesamiento [7].

### **1.5. Generalidades sobre sistemas de Control de la Supervisión y Adquisición de Datos**

SCADA es el acrónimo de *Supervisory Control and Data Acquisition*, (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de la producción, que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. También provee toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control de calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.). Comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial, para que con esta información sea posible una serie de análisis o estudios con los que se puedan obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso.

#### **1.5.1. Funciones principales de un sistema SCADA**

- Supervisión remota de instalaciones y equipos: Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la

planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.

- Control remoto de instalaciones y equipos: Mediante el sistema se pueden activar o desactivar los equipos remotamente, por ejemplo, abrir válvulas, activar interruptores, encender motores, etc., de manera automática y también manual; además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
- Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- Visualización gráfica dinámica: El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.
- Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
- Representación de señales de alarma: A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a un fallo o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras [8].

### **1.5.2. Importancia de los sistemas SCADA a escala global**

Los sistemas SCADA han supuesto un gran avance en los procesos de automatización industrial, pues permiten visualizar los procesos de producción de las plantas, lo que se traduce en la toma de mejores decisiones basadas en información relevante; ya que permite a los ingenieros de cualquier empresa llevar un control exhaustivo de todos los dispositivos en tiempo real. Estos sistemas de supervisión y control posibilitan crear alarmas y advertencias para corregir posibles desviaciones en el proceso; es por ello que se han convertido en un factor fundamental a la hora de monitorear y controlar los procesos industriales. Los sistemas potencian la gobernanza y gestión dentro de la automatización industrial.

### 1.5.3. Requisitos para un sistema SCADA

Un SCADA debe de cumplir con diferentes requisitos para hacer un buen aprovechamiento de su instalación:

- Manejo desde un PC: debe incluir no solo la visualización del estado de los elementos monitoreados, sino su control y manipulación.
- Hardware ligero: hardware fácil de instalar y usar; fácilmente configurable, cuyo montaje y mantenimiento pueda ser realizado de manera sencilla.
- Software flexible: interfaz gráfica amigable con el usuario, debe permitir la integración con las herramientas ofimáticas, de producción, y funciones de mando y supervisión.
- Arquitectura abierta: debido a que un sistema SCADA está comprendido por varias tecnologías; se debe garantizar su inter-funcionalidad. Las aplicaciones deben ser soportadas por los sistemas operativos más comunes y se deben permitir combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas.
- Arquitectura escalable: si los niveles de producción crecen y a su vez los sistemas monitoreados se hacen más grandes o robustos, lo ideal es que no sea necesario desmontar el sistema SCADA presente, sino que este sea escalable y pueda crecer y adaptarse a las nuevas necesidades.
- Comunicaciones confiables: el sistema SCADA debe garantizar el transporte de datos entre sus respectivos bloques o sistemas controlados. Esta comunicación debe ser flexible, adaptable a la topología del sistema y soportada por una tecnología de transporte de datos estandarizada. Para este propósito ya están disponibles numerosos protocolos de comunicaciones industriales [9].

### 1.5.4. Normativas generales de supervisión en procesos industriales

Los sistemas de supervisión y control se pueden regir a través de diferentes normas según sea el caso, estas son:

**NORMA ISO-101:** Este estándar pretende marcar una serie de convenciones y normas a la hora del diseño y jerarquías de interfaces HMI utilizados en la automatización industrial de máquinas y procesos. El alcance de la norma

pretende incluir jerarquías de menú, convenciones de navegación de pantalla, convenciones de colores y gráficos, elementos dinámicos, convenciones de alarmas, métodos de seguridad y atributos de firma electrónica, interfaces con la programación de antecedentes y bases de datos de históricos, convenciones emergentes, pantallas de ayuda, y métodos utilizados para trabajar con alarmas, interfaces de objetos programa, y las interfaces de configuración en las bases de datos, servidores y redes. Un HMI que es fácil de entender y da opciones claras a los usuarios finales, se producen menos errores, aumenta la productividad del operador y se reduce el estrés. Mejor diseño de HMI puede prevenir pérdidas significativas a una empresa en términos de tiempo y materiales. La norma define los modelos de la terminología y el desarrollo de un HMI y los procesos de trabajo recomendados para mantener con eficacia a lo largo de su ciclo de vida. La norma pretende proporcionar orientación para diseñar, construir, operar y mantener HMI efectivas que resulten más seguras, más eficaces y más eficiente en el control de un proceso, en todas las condiciones de funcionamiento. La interface HMI en la industria son pantallas, terminales de operador y sistemas SCADA [10].

**NORMA ISO-9241:** El objetivo a conseguir queda definido por los siguientes principios, ilustrando lo que le pasa a una ventana informativa de una aplicación de visualización, la cual debe de tener un aspecto coherente, que responda a las expectativas, que brinde indicaciones con claridad para proporcionar una asimilación correcta. Esta trata del diseño ergonómico de programas para equipos con pantallas de visualización de datos. Enumera una serie de ideas que se pretende que sirvan de guía a la hora de realizar el planteamiento y desarrollo de las interfaces gráficas, en este caso son:

1. La aplicación debe estar adaptada a la tarea para la cual se ha diseñado; el diálogo con el usuario debe ser limpio, presentando y exigiendo solamente la información estrictamente necesaria.
2. La aplicación debe informar del progreso al interlocutor de forma comprensible para este (auto descriptiva).
3. La aplicación debe poder adaptarse al nivel de capacitación del usuario.
4. La aplicación debe ser controlada por el usuario no al revés.
5. La respuesta de interface debe ser coherente y adaptada al nivel de capacitación del usuario.

6. La aplicación deberá ser tolerable a fallos y con herramientas de corrección automática.
7. Deberá ser clara y sencilla al utilizar [10].

#### **1.5.5. Los sistemas SCADA a nivel internacional**

En la actualidad los Software SCADA pueden ser divididos en dos tipos: Proprietarios o Abiertos. Las compañías desarrollan software propietario para comunicarse con su respectivo hardware. Estos sistemas son vendidos como soluciones llave en mano. El problema principal con estos sistemas está en la absoluta dependencia a los suministradores del sistema, ejemplos de éstos son el WinCC de Siemens muy utilizado a nivel mundial, Vijeo Citect de Schneider Telemecanique y DigiVis 500 de ABB. Los sistemas de software abierto han ganado popularidad por la interoperabilidad que brindan al sistema. Algunos paquetes están ahora incluyendo recursos de administración empresarial integrados dentro de los sistemas SCADA. Las aplicaciones de estos sistemas a nivel industrial son casi infinitas por la variabilidad de su uso y aplicación en diferentes áreas, incluso no industriales como la domótica, ejemplos de su utilización se pueden ver en la minería [10].

#### **1.6. Sistema de supervisión y control WinCC Basic**

WinCC Basic es un software de supervisión y control de procesos de Siemens que se utiliza para la visualización y el control de procesos industriales. [11]

- Funciones: es una versión básica del sistema de supervisión y control de procesos de Siemens para una amplia variedad de aplicaciones. Esta versión incluye la visualización de datos de proceso, la gestión de alarmas y eventos y la gestión de recetas.
- Uso: se utiliza en aplicaciones como la automatización de máquinas, la monitorización de la producción y la gestión de la energía.
- Ventajas: es fácil de usar y configurar y ofrece una interfaz de usuario intuitiva y personalizable. Además, es compatible con una amplia variedad de dispositivos de hardware y software de Siemens [11].

#### **1.7. Generalidades sobre las redes de comunicaciones industriales**

Las comunicaciones deben poseer unas características particulares para responder a las necesidades de intercomunicación en tiempo real. Además, deben resistir un ambiente hostil donde existe gran cantidad de ruido electromagnético y condiciones ambientales duras. En el uso de comunicaciones industriales se pueden separar dos áreas principales: una comunicación a nivel de campo, y una comunicación hacia el SCADA. En ambos casos la transmisión de datos se realiza en tiempo real o, por lo menos, con una demora que no es significativa respecto de los tiempos del proceso, pudiendo ser crítico para el nivel de campo [12].

### **1.7.1. Protocolos de comunicaciones industriales**

Un protocolo de comunicación es un conjunto de normas, pautas o instrucciones que sirven para guiar las acciones durante el intercambio de información, entre los distintos dispositivos que conforman una red. Los buses de campo permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso y los de mayor presencia son:

- **HART (*Highway Addressable Remote Transducer*):** HART es un protocolo de comunicación digital que opera sobre un bucle de corriente convencional 4-20 mA. Utiliza una onda senoidal de baja frecuencia como portadora analógica de la información digital, mediante modulación por desplazamiento de frecuencia. Utiliza una frecuencia de 1.200 Hz para codificar un "1" y una frecuencia de 2.200 Hz para codificar un "0". Al tener su valor medio nulo, la señal modulada no afecta a la corriente del bucle. La velocidad de transferencia de este protocolo es de 1.200 bps. y puede alcanzar distancias de 3000 metros con el uso de cable de par trenzado apantallado [12].
- **MODBUS:** Es un protocolo de comunicación basado en la arquitectura de master/esclavo o cliente/servidor. Su principal objetivo es facilitar las comunicaciones entre los dispositivos de automatización y de campo. El bus se compone de una estación activa (principal) y de varias estaciones pasivas (subordinadas). La estación principal es la única que puede tomar la iniciativa de intercambio de información, no pudiendo las estaciones subordinadas comunicarse directamente [13].
- **DEVICENET:** El protocolo DeviceNet contempla comunicaciones entre estaciones con la misma funcionalidad (peer-to-peer) y comunicaciones

activa-pasiva (máster-esclavo). Puede funcionar a tres velocidades distintas: 125 Kbps (longitud máxima 500 metros), 250 Kbps (longitud máxima 250 metros) y 500 Kbps (longitud máxima 100 metros). La topología es la de un bus lineal, transportando por un mismo cable de red los datos y la alimentación de los dispositivos. La longitud máxima de datos en una trama es de 8 octetos. El máximo número de nodos permitidos es de 64 [12].

- AS-i (Actuador Sensor-interface): Se basa en un bus de dos hilos sin apantallar que puede tener una longitud máxima de 100 metros y que interconecta a una estación activa (máster) y un máximo de 31 estaciones pasivas (esclavos), con un máximo de 124 actuadores/sensores binarios (máximo de 4 unidades binarias o 1 unidad digital más compleja por estación pasiva). La estación activa interroga a todas las pasivas sucesivamente y espera la respuesta. AS-I usa mensajes de longitud constante, evitando así el uso de complejos procedimientos para el control de la transmisión y cálculo de las longitudes de los mensajes y formato de los datos, consiguiendo de esta forma que una estación activa consulte a todas sus estaciones pasivas, y actualice los datos en un tiempo máximo de 5 milisegundos a una velocidad de 167 Kbps. Para conectar diferentes actuadores, sensores u otros dispositivos y elementos al bus AS-I, este protocolo define un módulo con tareas de interfaz electromecánica que permite una simple instalación y manipulación de dichos elementos. La alimentación de los nodos conectados al bus se puede realizar a través del propio bus (24 VDC y hasta 100 mA por estación pasiva con un máximo de 2 A en total) [14].
- PROFIBUS (*Process Field Bus*): se desarrolló bajo un proyecto financiado por el gobierno alemán. Las distancias potenciales de bus van de 100 m a 24 Km (con repetidores y fibra óptica). La velocidad de comunicación puede ir de 9600 bps a 12 Mbps. Utiliza mensajes de hasta 244 bytes de datos [13].
- FIELDBUS FOUNDATION (FF): es un bus orientado sobre todo a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Presta especial atención a las versiones que cumplen normas de seguridad intrínseca para industrias de proceso en ambientes combustibles o explosivos. Se ha diseñado para la comunicación rápida con unidades periféricas descentralizadas, con rápidos tiempos de reacción. Hay numerosos dispositivos PROFIBUS ofrecidos por diversos fabricantes.

Dichos dispositivos abarcan desde módulos sencillos de entradas o de salidas hasta controladores de motores y sistemas de automatización [12].

- **ETHERNET INDUSTRIAL:** Constituye un estándar de red de comunicación capaz de manejar grandes cantidades de datos a velocidades de 10Mbps o 100Mbps y hasta 1500 bytes por paquete. Es fácil de configurar, operar, mantener y ampliar. Es compatible con la mayoría de los conmutadores (*switch*). Esta tecnología se utiliza con ordenadores personales, robots, dispositivos y adoptadores de E/S, controladores lógicos programables y otros dispositivos. Es una potente red de área y célula de acuerdo con los estándares IEEE 802.3 (Ethernet) con la que se pueden crear redes de comunicación eficaces de gran extensión. Es un sistema que ofrece todo el potencial que ofrece Ethernet, pero utiliza medidas de seguridad, incluidas las de control de acceso y autenticación, seguridad en la conectividad y administración, a fin de asegurar y garantizar la confidencialidad e integridad de la red y ofrecer datos libres de interferencias [12].

### **1.7.2. Importancia de las comunicaciones en procesos industriales**

La comunicación en las plantas industriales se ha hecho imprescindible en la industria moderna. Una red industrial se divide en cuatro niveles: gestión, control, campo y proceso, entrada/salida esto permite la optimización de los procesos, de ahí que las comunicaciones tengan una importancia notable. Contar con una red industrial aporta ciertas ventajas como son la visualización y supervisión de todo el proceso productivo, la toma de datos del proceso de forma más rápida o instantánea. Permite lograr una mejora del rendimiento general de todo el proceso, la posibilidad de intercambio de datos entre sectores del proceso y departamentos y la programación a distancia sin necesidad de estar a pie de Planta [3].

### **Conclusiones Parciales**

En este capítulo se logró definir la situación actual de la Planta de Tratamiento Químico de Agua, de la Empresa de Refinería de petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba. Se tuvo en cuenta un estudio del funcionamiento de la industria moderna, con el objetivo de aplicarlo durante el desarrollo de la solución a la problemática pertinente. Además, se explicaron contenidos referentes a los

sistemas SCADA como sus funciones, importancia, requisitos para su elaboración, entre otros. Se caracterizó el software WinCC Basic, sobre el cual se realizó el trabajo y se enfatizó en la importancia de las redes de comunicación industrial.

## **CAPÍTULO 2. Diseño de sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Refinería de petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba.**

### **Introducción del capítulo**

Los sistemas SCADA consisten en una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de procesos, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando la planta de forma automática desde la pantalla del ordenador. En este capítulo se describe el diseño del sistema SCADA para el proceso de tratamiento químico de agua en la Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz”. El sistema supervisor se realiza utilizando el software WinCC Basic, se explica su funcionamiento y se realiza la simulación del mismo.

### **2.1. Nivel de automatización en la Empresa Refinería de Petróleo de Santiago de Cuba**

El grado de automatización de la Empresa Refinería de Petróleo de Santiago de Cuba asciende al tercer nivel en la pirámide (Supervisión y Control de Datos). Se cuenta con este nivel de automatización para realizar un adecuado proceso productivo y además tener un control exhaustivo del mismo, así como poder supervisarlos de forma constante y en tiempo real. Este nivel también permite realizar procesos de mantenimiento de forma planificada, pues al contar con un sistema supervisorio se conoce el estado de los equipos y procesos. Además, facilita detectar fallas en estos y así poder trabajar en su solución con más rapidez evitando la parada de la producción por largos períodos de tiempo.

### **2.2. Estado actual de la Planta de Tratamiento Químico de Agua**

La Planta de Tratamiento Químico de Agua actualmente cuenta con un mínimo nivel de automatización, lo que hace de este proceso poco eficiente y que la calidad en los resultados no sea la adecuada.

El subproceso donde se realiza la dosificación de cal es ineficiente. En este un gran número de actuadores funcionan de forma manual y en base a la experiencia de los operadores de la planta, en lugar de hacerlo a partir de un algoritmo de control que haga óptimo el mismo. No existe el uso de sensores en

el campo para realizar las pertinentes mediciones y conocer el funcionamiento del proceso. En este subproceso no se emplean válvulas de control que regulen el flujo de fluido hacia las áreas correspondientes.

En el subproceso de dosificación de sulfato de aluminio, de igual forma a lo planteado anteriormente, no se tiene control sobre la dosificación, esta se realiza sin tener en cuenta la relación que debe existir entre este producto y el agua al ser añadidos al tanque. De igual manera no hay presencia de sensores y actuadores que permitan un mejor manejo del proceso. El estado actual de las tuberías que permiten el acceso de los productos al tanque mezclador no es el idóneo, el proceso de mezclado que se realiza a partir de la introducción de aire a presión dentro del tanque, tampoco se realiza de forma adecuada ya que no se tiene en cuenta el tiempo de mezclado.

La funcionalidad del tanque precipitador se ve afectada como consecuencia del estado actual de los procesos de dosificación, ya que estos inciden directamente sobre el proceso de tratamiento químico de agua. En este tanque no se realizan todas las mediciones necesarias y las que, si se toman, no se realizan con instrumentación de calidad suficiente para afirmar que el resultado de la medición es confiable. No se cuenta con un sensor adecuado para la medición de nivel sobre el colchón de cal que se crea durante el proceso, por tanto, el mantenimiento que se debe de realizar sobre el mismo no es eficiente y esto puede afectar el resultado de la calidad del agua. Los filtros tienen un funcionamiento estable, en estos se realiza una medida de presión diferencial para conocer su estado de funcionamiento, lo que permite saber si el tratamiento que se le está realizando al agua es bueno, ya que si el valor de la diferencia de presión no está dentro de los parámetros requeridos pues la calidad del filtrado no es buena.

Los ablandadores con zeolita operan actualmente de forma manual para los procesos de mantenimiento, así como la medición de la dureza total del agua a su salida, la cual se obtiene a partir de un análisis químico manual en el laboratorio de la Planta. Realizar estos procesos de forma manual hacen que el proceso sea más lento y que dependa constantemente de la intervención de los

operadores, ya que, si se supervisaran y controlaran de forma automática las variables, el proceso sería más rápido y por ende más efectivo.

### 2.3. Algoritmo para el control automático de las variables que rigen el proceso de Tratamiento Químico de Agua

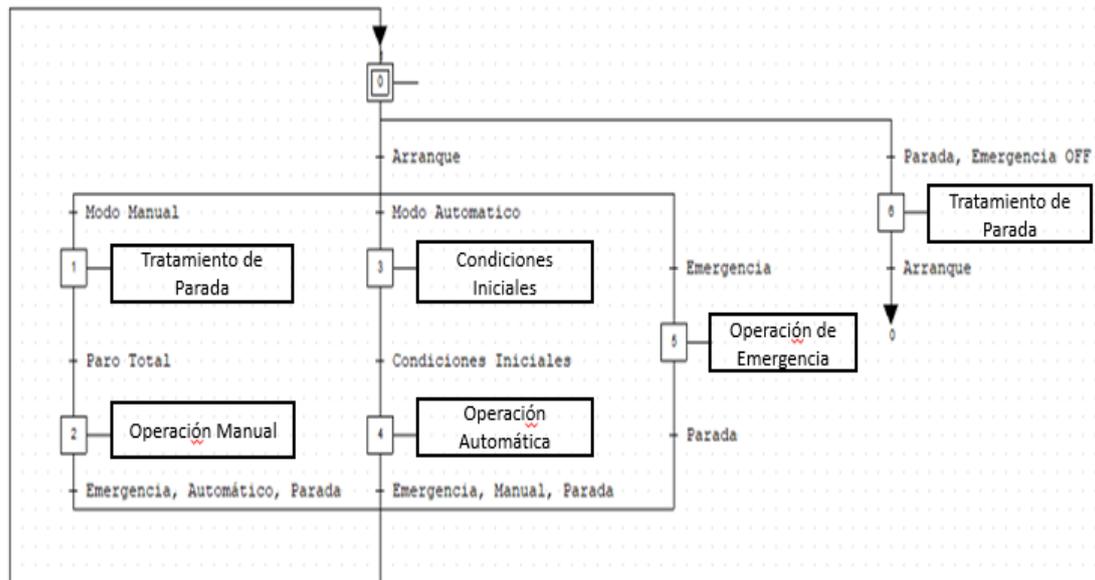


Figura. 2.1: Grafset del algoritmo para el control.

El algoritmo de control automático propuesto prevé el uso de bloques de función que logran estructurar, de manera organizada, el funcionamiento de todo el proceso. El programa principal verifica el estado de las variables arranque/parada, modo de operación y emergencia. En correspondencia con ellas se ejecutan los bloques antes mencionados. A continuación, se describen las acciones a realizar en cada función programada:

✓ **Condiciones Iniciales:**

- Apagar todos los motores y bombas.
- Conectar o alimentar todos los dispositivos de campo de 24 VDC.
- Cerrar todas las válvulas excepto las que tributan a los filtros y las que permiten el funcionamiento normal de los ablandadores.
- Vaciar el tanque de hidróxido de calcio.
- Extraer el lodo del tanque precipitador.
- Verificar que no haya cal en la cinta transportadora.
- Validar los datos de entrada en los ajustes.

✓ **Tratamiento de emergencia:**

- Se detiene completamente todo el proceso en el punto en el que se encuentre.

✓ **Tratamiento de parada:**

- Se detiene completamente todo el proceso en el punto en el que se encuentre. Además, se vacía el tanque mezclador de hidróxido de calcio y se extrae todo el lodo del tanque precipitador y luego se declara el paro total.

✓ **Modo manual:**

- Se manipula el estado de los actuadores del sistema, encendido/apagado para los motores y las bombas, abierto/cerrado (0% ó 100%) para las válvulas.

✓ **Modo automático:**

- Se realizar el escalamiento de las variables analógicas.
- Se realiza el proceso de dosificación de Cal. Ver anexo 1.
- Se realiza el proceso de dosificación de Sulfato de Aluminio. Ver anexo 2.
- Entrada de agua cruda al tanque precipitador y adición del hidróxido de calcio e hidróxido de aluminio, abriendo las válvulas de entrada y salida del precipitador, de acuerdo al número de calderas en funcionamiento. Ver anexo 3.
- Filtración del agua que proviene del tanque precipitador. Ver anexo 4.
- Ablandamiento del agua a partir del intercambio iónico. Ver anexo 5.
- Se realizan operaciones de mantenimiento a los ablandadores.
- Se gestionan todas las alarmas del proceso de tratamiento de agua.
- Se realizan las operaciones de control de las dosificaciones de agentes químicos.

#### **2.4. Diseño del sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos**

Este sistema de supervisión y control desarrollado en el software WinCC Basic está formado por 12 pantallas, que permiten observar el funcionamiento y la estructura que tendría el proceso luego de implementarse la propuesta de automatización realizada. De forma independiente cada una de las pantallas expone con más detalle la estructura de cada subproceso y se visualizan además

los actuadores, sensores, bombas, motores y transmisores utilizados. Además, se ve de una manera entendible la distribución de todos los componentes y la ruta que sigue cada etapa gracias a las líneas de ayuda, los cuadros de texto y demás señales utilizadas.

### 2.4.1. Configuración general y seguridad del sistema SCADA

Seguridad de sistema: se adicionan los usuarios de la aplicación y se les otorga la jerarquía y la contraseña que determinará los derechos que poseerá cada uno en el sistema. Para tener acceso a la configuración se debe tener derechos de administración. Este sistema de supervisión cuenta con tres niveles de acceso.

1. Operador: Solo tiene acceso a modificar los parámetros de las variables que el administrador autorice, como las operaciones que se realicen en el modo de operación manual y los parámetros y operaciones contemplados en la pantalla de ajustes, excepto en lo concerniente a la materia prima empleada.
2. Administrador: Tiene acceso a todas las áreas, puede realizar modificaciones a las configuraciones de las variables, así como los parámetros del controlador.
3. Gerencia: Tiene todos los permisos de acceso y puede obtener además un registro sobre los parámetros de producción y calidad para un mejor manejo de los recursos.

Usuarios					
Nombre	Contraseña	Cierre de sesión autom..	Tiempo de cierre de sesión	Número	Comentario
 Administrador	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	1	El usuario 'Administrador' se asigna al grupo 'Administrador'.
 Ingeniero	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2	El usuario 'Usuarios' se asigna al grupo 'Ingeniero'.
 Operador	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	3	El usuario 'Operador' se asigna al grupo 'Usuarios'.

Figura. 2.2: Niveles de acceso de los usuarios.

### 2.4.2. Comunicación para la supervisión del proceso

La comunicación para realizar la supervisión del proceso se realiza a través de la red ethernet industrial entre el PLC y el computador en el cual se va a implementar el sistema de supervisión y control. No se realizó el uso de un servidor para realizar las comunicaciones, ya que los dispositivos que interactúan son de la firma Siemens y esto los relaciona sin dificultades. Por lo tanto, existe total compatibilidad entre el controlador y el software SCADA.

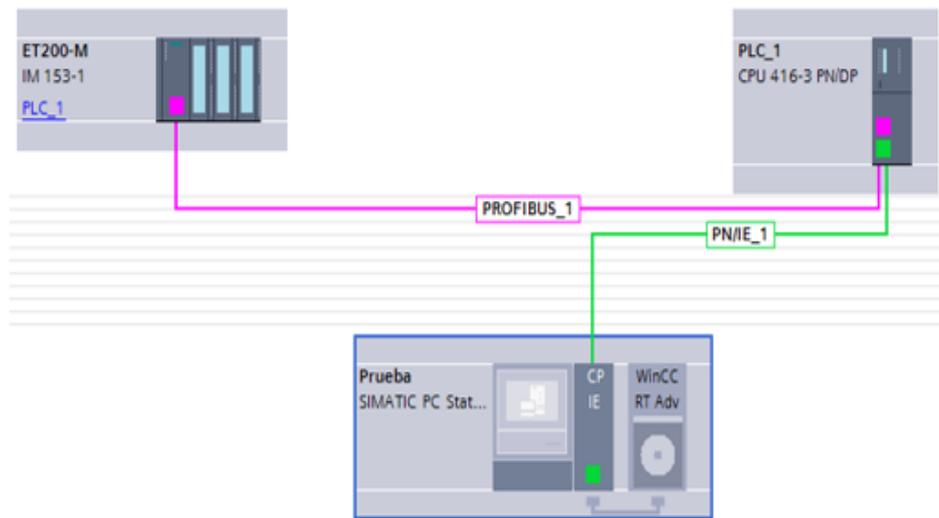


Figura. 2.3: Esquema de conexiones.

### 2.4.3. Declaración de variables

Variables de Entradas Analógicas: Son las magnitudes que se miden en los dispositivos y puede variar de forma continua en el tiempo y toma cualquier valor dentro del rango definido (ej. Flujos, Temperaturas, Presiones, etc.).

Variables de Salidas Analógicas: Son aquellas que generalmente están asociadas a canales físicos de los dispositivos, mediante las cuales se envían señales analógicas a los elementos de acción final.

Variables de Entradas Digitales: Las entradas digitales leen el estado de elementos físicos tales como sensores capacitivos, sensores inductivos, botones o interruptores que aportan información al PLC de lo que está sucediendo en la instalación.

Variables de Salidas Digitales: Permiten al PLC actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan órdenes del tipo todo o nada.

Tabla 8. Variables del algoritmo de control.

Tipo de variable	No. Entradas	No. Salidas
Analógicas	18	2
Digitales	6	31
Marcas internas	134	

Variables HM							
Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	Dirección	Modo de acceso
Ablandadores_con_Zeolita	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
Agua_Dosificada_Kg	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	Agua_Dosificada_Kg	%M094	<Acceso absoluto>
Ajustes	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
Alarma_1	Tabla de variables estándar	Int	HM_Conexión_4	PLC_1	Alarma_1	%MW256	<Acceso absoluto>
Alarmas	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
Alimentacion_Instrumentos	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	Alimentacion_Instrumen...	%Q3.7	<Acceso absoluto>
Aranque	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	Aranque	%M0	<Acceso absoluto>
B1	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
B1_MANUAL	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	B1_MANUAL	%M0.7	<Acceso absoluto>
B2	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
B2_MANUAL	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	B2_MANUAL	%M2.6	<Acceso absoluto>
B3	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
B3_MANUAL	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	B3_MANUAL	%M3.1	<Acceso absoluto>
B4	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
B4_MANUAL	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	B4_MANUAL	%M4.6	<Acceso absoluto>
Bipolar1	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	Bipolar1	%M0.1	<Acceso absoluto>
Calderas	Tabla de variables estándar	Int	HM_Conexión_4	PLC_1	Calderas	%MW154	<Acceso absoluto>
CANT_AGUA_DOS_AL	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	CANT_AGUA_DOS_AL	%M130	<Acceso absoluto>
Cant_Agua_Dosificada	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	Cant_Agua_Dosificada	%M090	<Acceso absoluto>
CANTIDAD_DE_CAL_VIVA_MEZ...	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
Comienzo_Dos_Al	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	Comienzo_Dos_Al	%M118.0	<Acceso absoluto>
Cond_Iniciales	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	Cond_Iniciales	%M6.7	<Acceso absoluto>
Contralavado	Tabla de variables estándar	Bool	HM_Conexión_4	PLC_1	Contralavado	%I0	<Acceso absoluto>
Control_de_calidad	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
CONV_1	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	CONV_1	%M086	<Acceso absoluto>
CONV_2	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	CONV_2	%M126	<Acceso absoluto>
CONV_3	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	CONV_3	%M134	<Acceso absoluto>
CONV_4	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	CONV_4	%M208	<Acceso absoluto>
CONV_5	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	CONV_5	%M216	<Acceso absoluto>
cuadrado_conductividad	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	cuadrado_conductividad	%M236	<Acceso absoluto>
Diagnóstico	Tabla de variables estándar	Bool	<Variable intern...		<no definido>		
Diferencia_P_filtro1	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	Diferencia_P_filtro1	%M258	<Acceso absoluto>
Diferencia_P_filtro2	Tabla de variables estándar	Real	HM_Conexión_4	PLC_1	Diferencia_P_filtro2	%M260	<Acceso absoluto>

Figura. 2.4: Fragmento de la tabla de variables del PLC.

#### 2.4.4. Pantalla de Bienvenida

Esta pantalla muestra el nombre y el logo de la empresa, contiene los botones de acceso al resto de las pantallas. Es la plantilla para cada una de ellas.



Figura. 2.5: Pantalla de bienvenida.

### 2.4.5. Control de Acceso

El control de acceso muestra una ventana emergente para introducir el nombre del usuario y su correspondiente contraseña. Cada usuario corresponde a un grupo de usuario diferente.

Las contraseñas de acceso son:

- Administrador: 1234a
- Ingeniero:2345b
- Operador: 3456c

Grupos					
Miembro de	Nombre	Número	Nombre de visualización	...	Comentario
		Grupo de administradores	1	Grupo de administradores	<input type="checkbox"/> El grupo 'Administradores' tiene inicialmente tod.
		Usuarios	2	Usuarios	<input type="checkbox"/> El grupo 'Usuarios' tiene inicialmente el permiso '
					

Figura. 2.6: Grupo de usuarios.

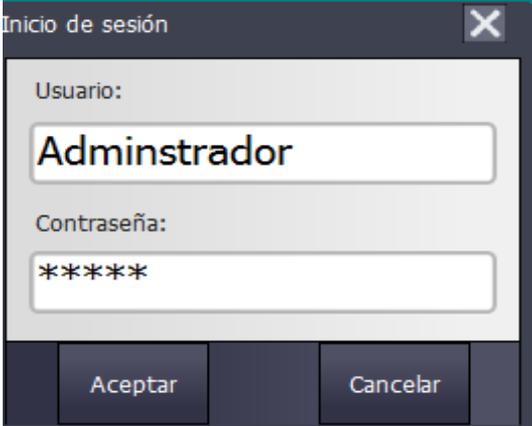


Figura. 2.7: Ventana de inicio de sección.

### 2.4.6. Panel de Control Principal

En el Panel de Control Principal se encuentran tres interruptores que permiten cambiar el modo de operación, estado de operación y estado de emergencias. También se cuenta con dos indicadores para señalar que las condiciones iniciales están creadas y que el proceso está en paro total.

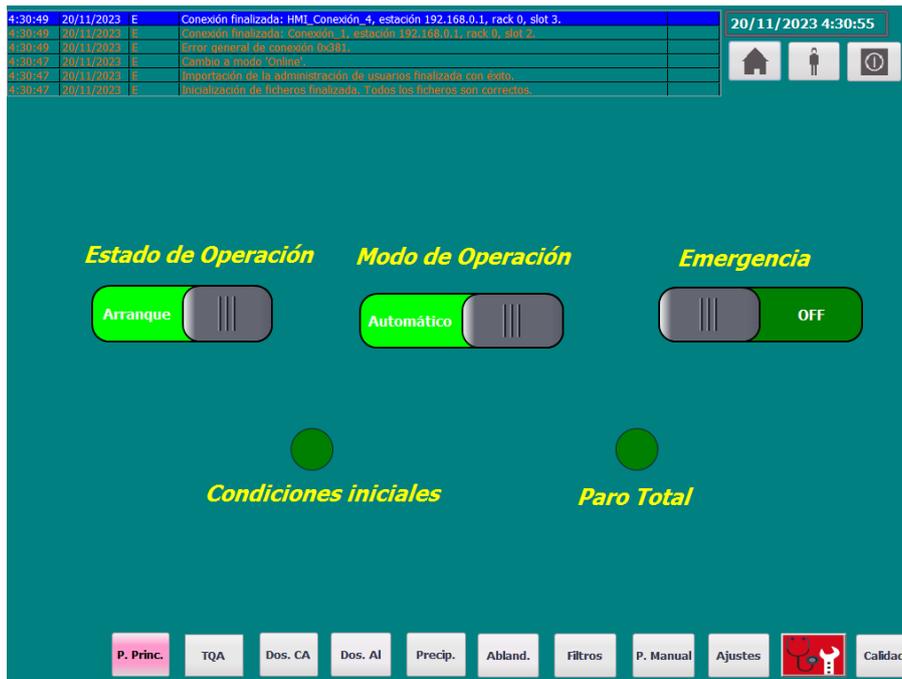


Figura. 2.8: Panel de Control Principal.

### 2.5.8. Panel de Operación Manual

La pantalla del modo de operación manual contiene a todos los actuadores que corresponden a los diferentes subprocesos respectivamente. Están acompañados por el interruptor que le corresponde, que activa o desactiva cada elemento (ON/OFF). Se especifica el estado que le corresponde a cada actuador, para las válvulas de control el estado es abierto o cerrado (0% o 100%) y en el caso de motores y bombas el estado es encendido o apagado.



Figura. 2.9: Panel de operación manual.

## 2.5.10. Análisis de Calidad y Producción

En el análisis de calidad se toman los datos de las variables dureza total, conductividad y temperatura. Estos valores se mostrarán en un gráfico para observar su comportamiento. En el análisis de producción se realizará un conteo de la materia prima empleada durante el proceso productivo a través de un algoritmo de programación donde se utilizan funciones matemáticas (suma, multiplicación), bloques de conversión de datos, temporizadores y escalamientos de variables analógicas. Ver anexo 6.

Propiedades	Animaciones	Eventos	Textos	Nombre	Estilo	Valores ...	Tipo Curva	Configuraci...	Página	Limites
Lista de propiedades				Conductivi...		100	Tiempo real c...	[Medicion_Co...	Izquierda	
Curva				Dureza total		100	Tiempo real c...	[Dureza_total]	Izquierda	
Apariencia				Temperatura		100	Tiempo real c...	[Medicion_Te...	Izquierda	
Borde				<Agregar>						
Representación										
Formato de texto										
Barra de herramientas										
Borde del botón										

Figura. 2.10: Ajustes de las variables a graficar en el control de calidad.

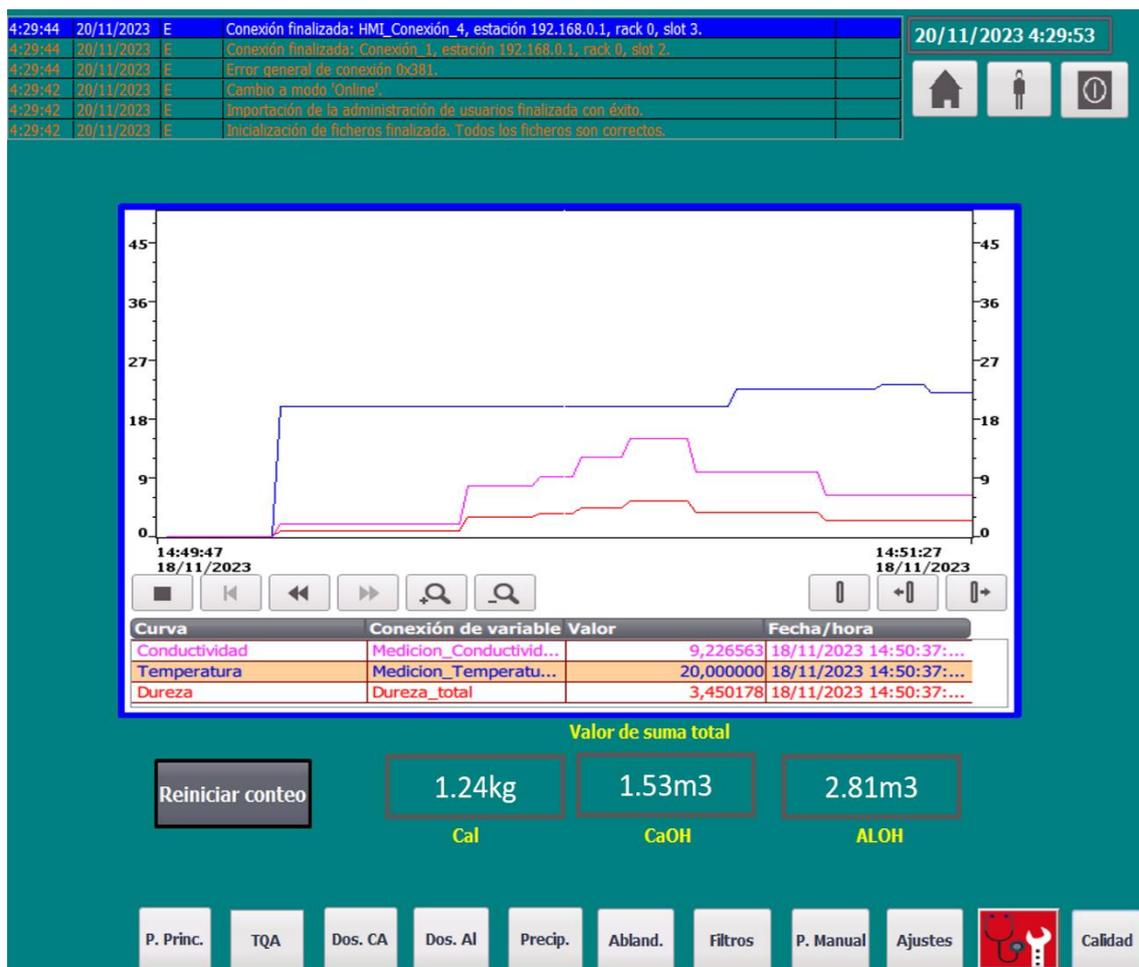


Figura. 2.11: Pantalla del control de calidad y producción.

### 2.5.11. Ajuste de Parámetros de Control

En esta pantalla se dispone de los cuadros de texto donde se fijarán los parámetros de producción y el número de calderas en funcionamiento, esto va a determinar el porcentaje de apertura de las válvulas de entrada y salida del tanque precipitador. Además, se cuenta con un botón que iniciará el conteo de la cantidad de la cantidad de materia prima empleada en el proceso (Cal viva mezclada, hidróxido de Calcio e hidróxido de Aluminio). Este conteo se realiza a partir de un algoritmo de control implementado para realizar la suma total de estos adictivos. Los campos de entrada salida permiten ajustar los valores para la relación sulfato de aluminio/agua y cal/agua, estas sirven como punto de partida para los procesos de dosificación de calcio y de sulfato de aluminio. A su vez estos parámetros ingresados van a ser modificados en función del control de conductividad propuesto.

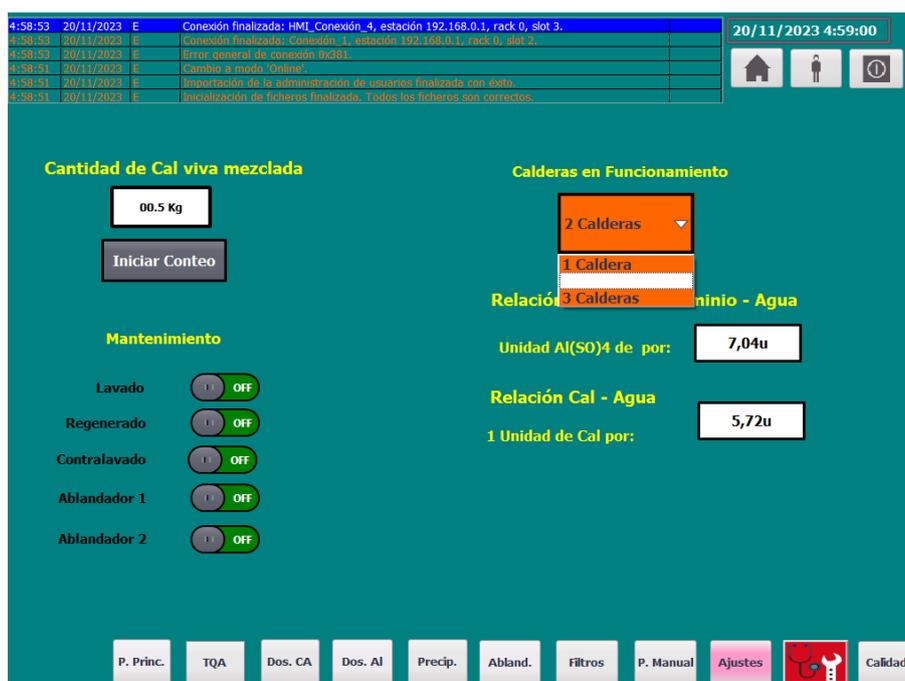


Figura. 2.12: Panel de ajustes.

Se encuentran ubicados cinco interruptores para controlar el proceso de mantenimiento de los ablandadores. Cada uno incide sobre las válvulas correspondientes que habilitan el proceso de mantenimiento según corresponda, ya sea el lavado, contralavado o regenerado; de igual forma ocurre con la bomba que suministra agua de mar.

## 2.5.12. Gestión de Alarmas

A través de las señales de alarmas se logra alertar al operador sobre la ocurrencia de condiciones anormales o eventos que pudieran requerir su intervención. Estas señales son visuales y para una mayor eficiencia de este control de las alarmas que se generan, se cuenta con una tabla que se muestra en la parte superior izquierda en todas las pantallas del SCADA. Esto permite al operador poder tomar acción sobre cualquier evento que esté ocurriendo y de esta forma solucionar la situación dada con mayor rapidez.

ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di...	Bit de ..	Dirección de ...
21	presión por encima...	La presión en el filtro2 està fuera de	Errors	Variable_H...	8	%DB9.DBX0.0
8	nivel bajo en la tolva	El nivel de CaO en la tolva es bajo	Errors	Alarma_1	9	%M256.1
22	presión por encima...	La presión en el filtro3 està fuera de	Errors	Variable_HMI...	10	%DB10.DBX0.2
9	Tiempo de frenado ...	El tiempo de frenado por contracorri	Errors	Alarma_1	3	%M257.3
10	Tiempo de mezcla ...	El tiempo de mezclado con el motor	Errors	Alarma_1	4	%M257.4
11	Relación Cal-Agua	La relación CaO y H2O establecida e	Errors	Alarma_1	5	%M257.5
12	Relación Sulfato de ...	La relación Al2(SO4)3 y H2O estable	Errors	Alarma_1	6	%M257.6

Figura. 2.13: Avisos HMI que se generan.

Nombre de visualización	Nombre	Autómata finito	Fichero	Dirección de co...	Color d...	Color d...	Col...
!	Errors	Aviso con acuse simple	<Ningún ficher...		255...	255...	...
	Warnings	Aviso sin acuse	<Ningún ficher...		255...	255...	...
\$	System	Aviso sin acuse	<Ningún ficher...		255...	255...	...
S7	Diagnosis events	Aviso sin acuse	<Ningún ficher...		255...	255...	...
A	Acknowledgement	Aviso con acuse simple	<Ningún ficher...		255...	255...	...
NA	No Acknowledgement	Aviso sin acuse	<Ningún ficher...		255...	255...	...

Figura. 2.14: Categoría de los avisos.

## 2.5.13. Registros Históricos

Los registros de históricos (Data Log) se crean a partir de una herramienta que posee la estación PC, la función "Ficheros" permite crear un registro con las variables y su comportamiento, específicamente de aquellas que el ingeniero desea almacenar para analizar posteriormente. Los valores del proceso (valores de las variables) pueden ser salvados con WinCC en los ficheros de valores del proceso. Posteriormente, esos archivos pueden ser usados, por ejemplo, para representar (tablas y curvas) y evaluar la evolución cronológica de los valores.

Nombre	Ubicación	Registros por ...	Ruta	Modo del ori...	Nombre del origen d...	Método de a...
B1 apagada	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B1 encendida	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B2 apagada	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B2 encendida	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B3 apagada	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B3 encendida	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B4 apagada	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
B4 encendida	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M1 apagado	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M2 apagado	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M2 encendido	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M3 apagado	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M3 encendido	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M4 apagado	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M4 encendido	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M5 apagado	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...
M5 encendido	Archivo TXT (Unico...	500	D:\WinCC	Nombre defin...		Fichero circ...

Figura. 2.15: Variables creadas en los registros de históricos.

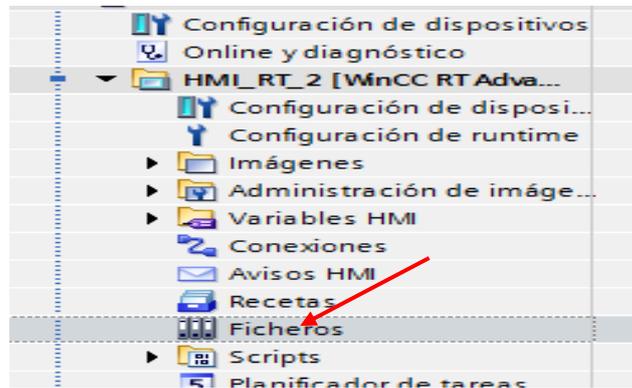


Figura. 2.16: Ficheros de los registros de históricos.

## 2.5. Valoración económica de la propuesta

Para la implementación del diseño propuesto se necesita realizar la compra de una computadora de escritorio, que cuente con características óptimas para el manejo del software WinCC Basic, el paquete de instalación que incluye el módulo general y el protocolo de comunicación establecido. Al cómputo de equipamientos físicos es preciso añadirle un gasto extra, el cual está asociado a transportación, impuestos, etc. La suma total asciende a los 1700 USD aproximadamente. A continuación, se muestra una tabla con el costo de los equipamientos para la implementación de este sistema.

Tabla 9. Costo del diseño e implementación del sistema SCADA.

Equipamientos	Precios	Moneda
Bus Ethernet	594.62	USD

Módulo General IE	204.78	USD
Licencia WinCC Basic V.16	163.86	USD
Computadora de escritorio HP Elite	208.05	USD
Otros gastos asociados	500	USD
<b>Total</b>	<b>1671.31</b>	<b>USD</b>

## 2.7. Valoración medioambiental de la propuesta

Desde el punto de vista medioambiental el desarrollo de este trabajo no afecta de ninguna forma. Este trabajo no produce ningún tipo de residuo tóxico, ni dañino para el medioambiente ya que no interviene en ningún proceso que pueda provocar daños naturales, ni a la vida del hombre.

## **Conclusiones Parciales**

Como parte del desarrollo de este capítulo, se le dio solución a la última parte de las tareas correspondientes a esta investigación. Se realizó el diseño del sistema SCADA para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Empresa Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba, el cual cumple con los requisitos para realizar el control y la supervisión de las variables fundamentales que intervienen en este proceso y se simuló el sistema diseñado para comprobar su correcto funcionamiento.

## **CONCLUSIONES**

Con la realización de esta investigación se ha obtenido un sistema óptimo para realizar la supervisión y el control de los procesos, que ocurren dentro de la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Empresa Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba. Se considera que, si se implementa este diseño en la misma, habrá un incremento del índice de eficiencia, una mejora notable en el proceso productivo, los procesos de mantenimiento y se obtendrá una mayor calidad del producto final. Además, con el uso de este sistema el ingeniero podrá ajustar las variables del proceso según la demanda de producción de vapor de las calderas y ver el comportamiento del proceso en tiempo real.

## **RECOMENDACIONES**

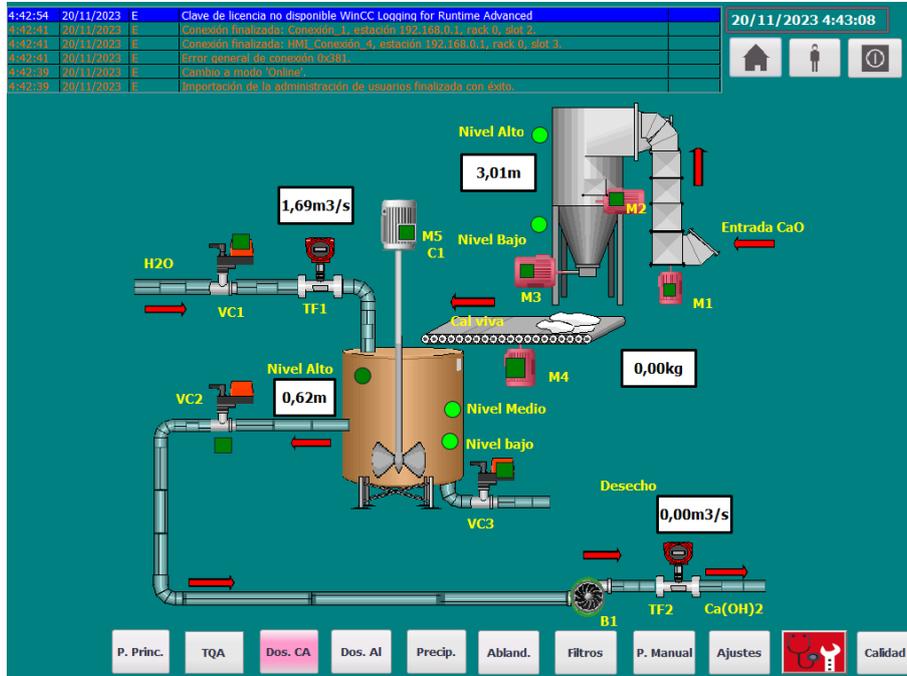
Se recomienda que se implemente este sistema SCADA, como parte de la propuesta de automatización realizada para la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Empresa Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz”, de Santiago de Cuba.

## BIBLIOGRAFIAS

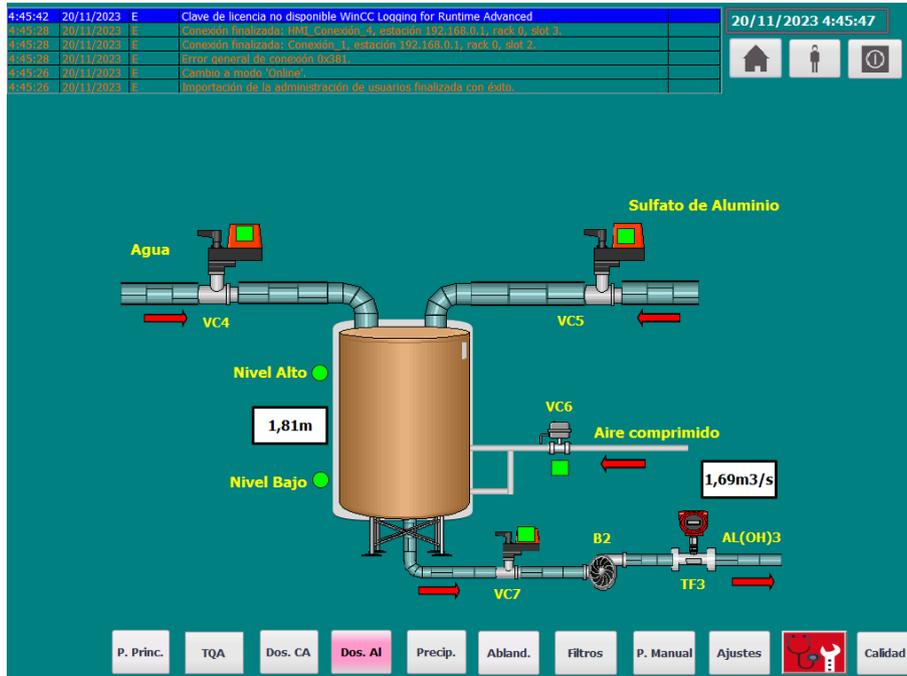
- [1] «Especificaciones de la Norma de Procesos Tecnológicos, UEB Facilidades Auxiliares, Refinería de Petróleo "Hermanos Díaz",» Santiago de Cuba, 2019.
- [2] H. F. y. B. M. Rase, Ingeniería de Proyectos para Plantas de Procesos.
- [3] M. A. Huluka, «Industria 4.0 y el futuro de la automatización industrial: el papel de las redes de,» *Revista Internacional de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*, 2022.
- [4] O. L. G. Coca, «Implementación de una estación de almacenamiento de probetas de distintos materiales y tamaños por PLC y pantalla táctil para el laboratorio de control de procesos industriales de la escuela de Ingeniería Mecánica de Espoch,» Riobamba, Ecuador, 2014.
- [5] J. B. y. Romeral, «Autómatas Programables», Editorial Marcombo, 2000.
- [6] R. F. L. Vicente, «Automation of the air conditioning system for aseptic rooms of pharmaceutical production,» *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 2023.
- [7] R. F. L. Vicente, «Propuesta de automatización para el sistema de climatización en áreas limpias de la Planta de Soluciones Parenterales de Santiago de Cuba,» Santiago de Cuba, 2020.
- [8] I. J. D. Romero, «Procedimiento para el diseño e implementación de Sistemas SCADA en Inductrónica del Caribe S.A.S, basado en estándares, normas técnicas ISO e ISA y en buenas prácticas de ingeniería.,» Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2017.
- [9] I. R. Segura, «Sistema SCADA para la modernización del procesamiento soya en la Empresa de Cereales Frank País García,» Santiago de Cuba, 2017.
- [10] A. Zegarra, «Normativa para el diseño de interfaces gráficas,» 2016.
- [11] SIEMENS, «SIMATIC WinCC Basic Software,» [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7/simatic-wincc-v7-basic-software.html>. [Último acceso: 4 11 2023].
- [12] J. M. Hurtado, «Introducción a las redes de comunicación industrial,» 2019.
- [13] E. R. Baldoquín, «Estrategia de control para Planta de Tratamiento de Agua en la Refinería Hermano Díaz,» Santiago de Cuba, 2017.
- [14] J. M. Hurtado, «Ciclo superior de Automatización y Robótica Industrial,» 2021.
- [15] E. Canorea, «Sistema SCADA y su importancia para la Industria 4.0,» *Plain Concepts*, 2022.

## ANEXOS

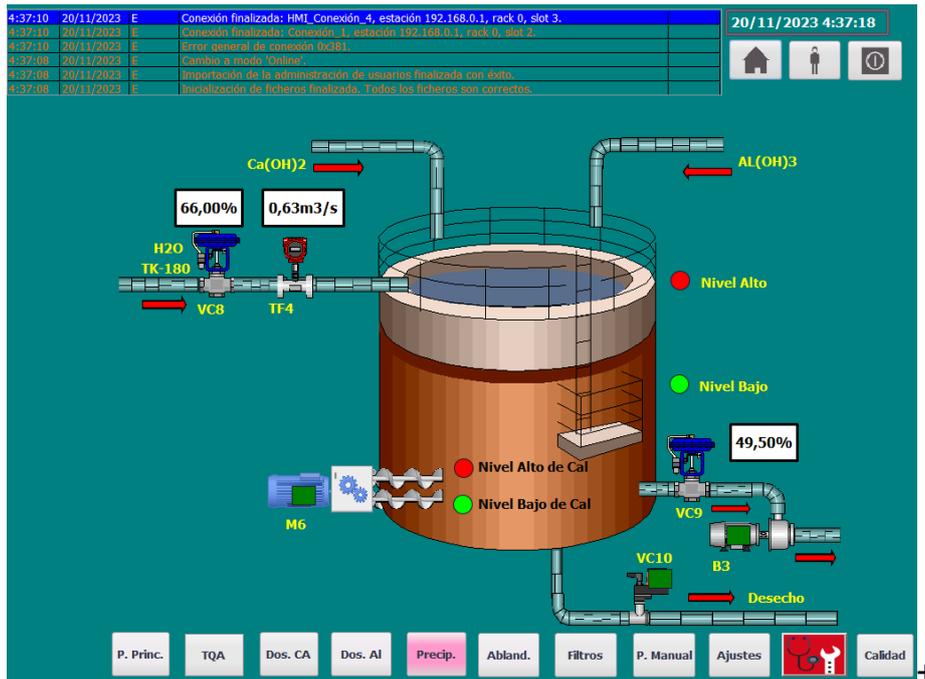
### Anexo #1: Dosificación de óxido de cal.



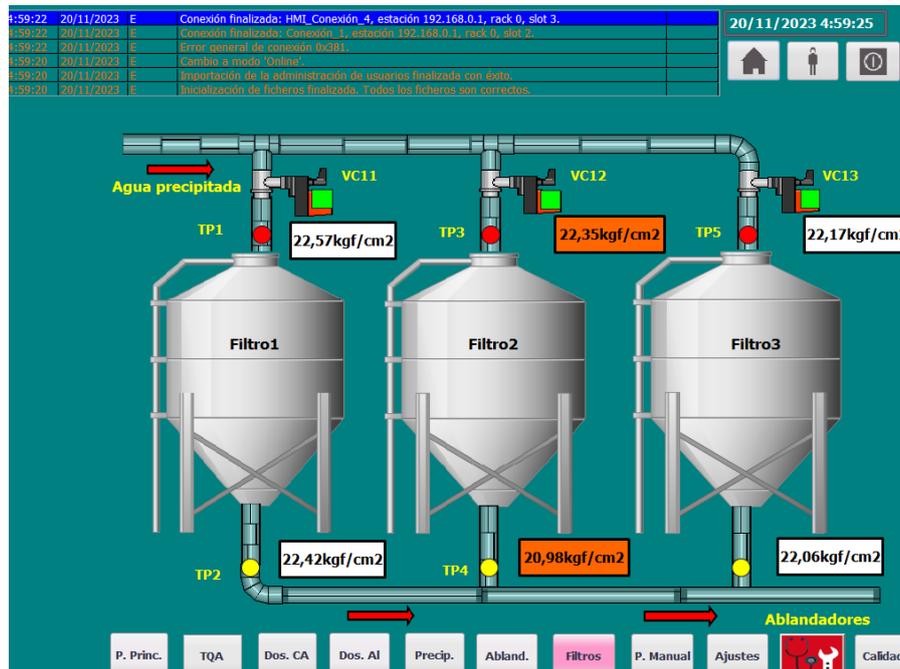
### Anexo #2: Dosificación de sulfato de aluminio.



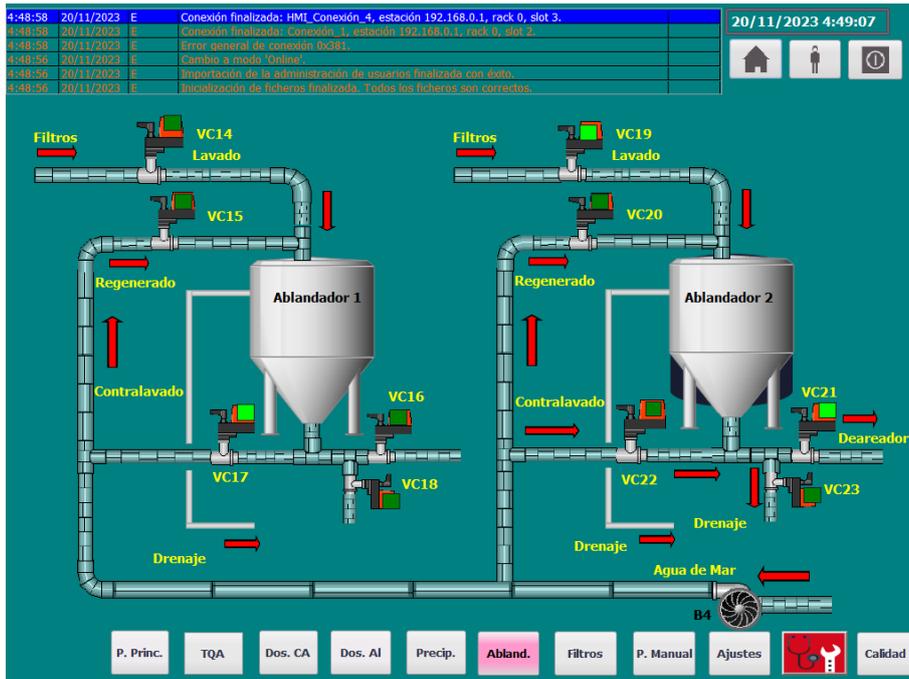
### Anexo #3: Tanque Precipitador.



### Anexo #4: Filtros con antracita.



### Anexo #5: Ablandadores con zeolita.



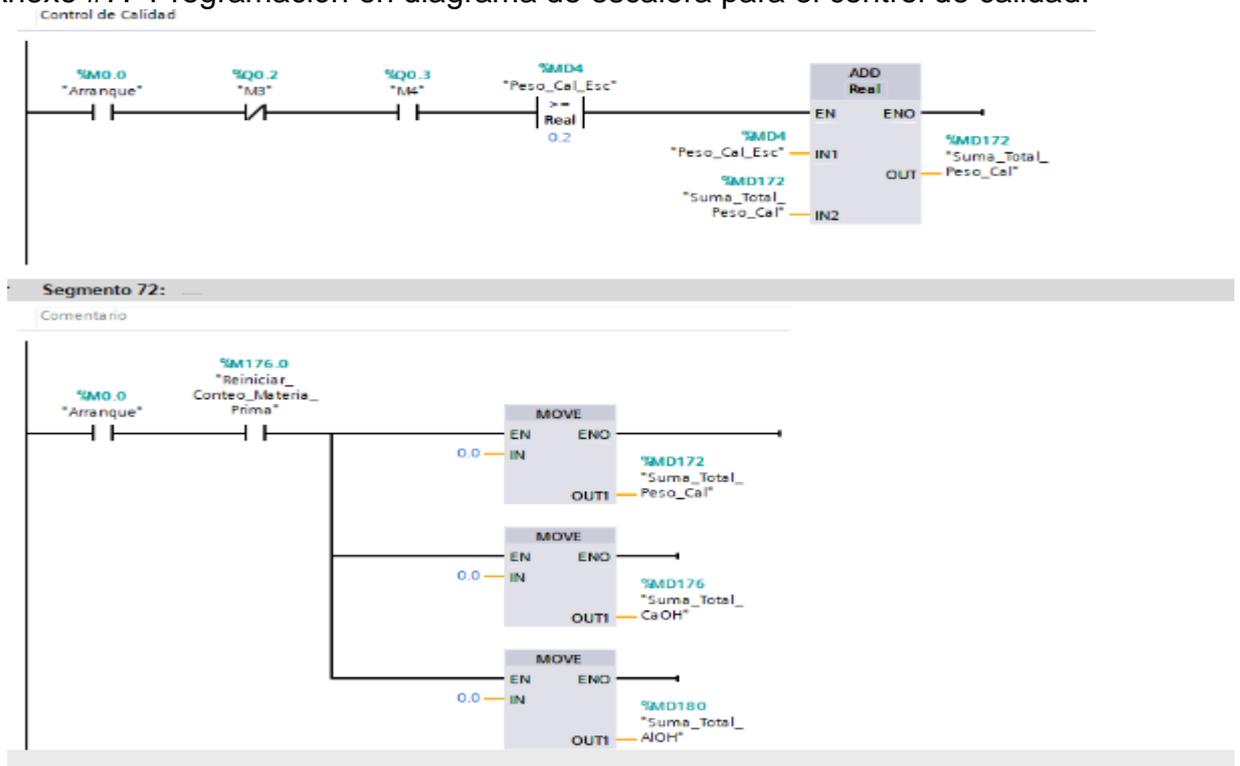
## Anexo #6: Pantalla de Diagnóstico.

The screenshot shows a diagnostic interface with a log of events at the top and a table of PLC data below. The log includes messages such as 'Conexión establecida: HMI Conexión 4, estación 192.168.0.1, rack 0, slot 3.' and 'Importación de la administración de usuarios finalizada con éxito.' The table below has columns for Hora, Fecha, Estado, Texto, and PLC, with entries for various connection and initialization events.

Hora	Fecha	Estado	Texto	PLC
10:07:01	15/11/2023	E	Conexión establecida: HMI Conexión 4, estación 192.168.0.1, rack 0, slot 3.	
10:06:57	15/11/2023	E	Conexión establecida: Conexión 1, estación 192.168.0.1, rack 0, slot 2.	
10:06:55	15/11/2023	E	Conexión finalizada: HMI Conexión 4, estación 192.168.0.1, rack 0, slot 3.	
10:06:53	15/11/2023	E	Cambio a modo 'Online'.	
10:06:53	15/11/2023	E	PLCSIM seems to be running. Some connections might not be established.	
10:06:53	15/11/2023	E	Importación de la administración de usuarios finalizada con éxito.	
10:06:53	15/11/2023	E	Importación de la administración de usuarios finalizada con éxito.	
10:06:53	15/11/2023	E	Iniciada la importación de la administración de usuarios.	
10:06:53	15/11/2023	E	Inicialización de ficheros finalizada. Todos los ficheros son correctos.	
10:06:53	15/11/2023	E	Inicialización de ficheros iniciada.	

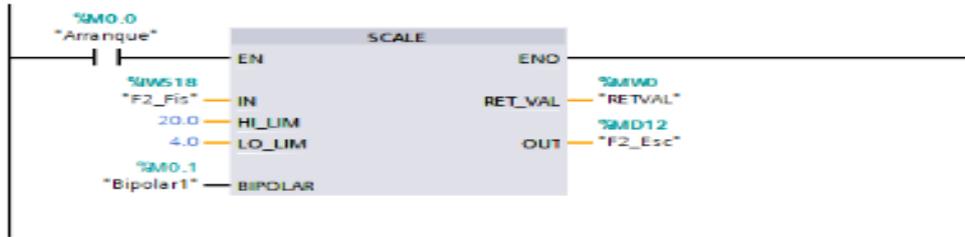
At the bottom of the screen, there is a navigation bar with buttons for 'P. Princ.', 'TQA', 'Dos. CA', 'Dos. AI', 'Precip.', 'Abland.', 'Filtros', 'P. Manual', 'Ajustes', and 'Calidad'.

## Anexo #7: Programación en diagrama de escalera para el control de calidad.



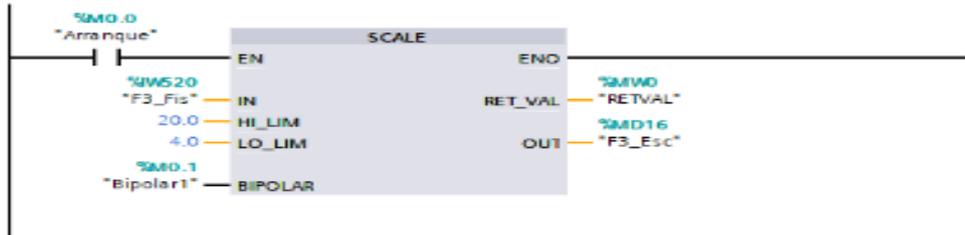
**Segmento 73:** ---

Comentario



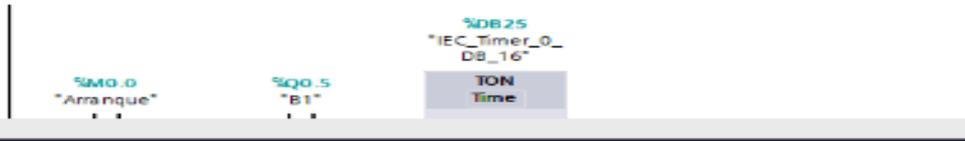
**Segmento 74:** ---

Comentario



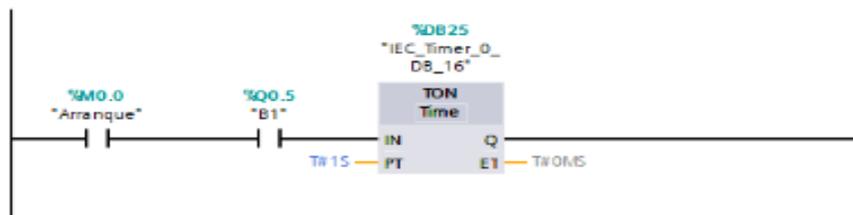
**Segmento 75:** ---

Comentario



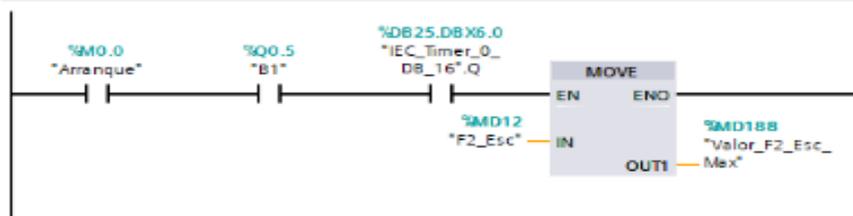
**Segmento 75:** ---

Comentario



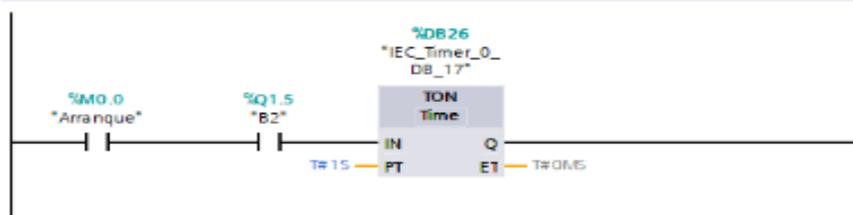
**Segmento 76:** ---

Comentario



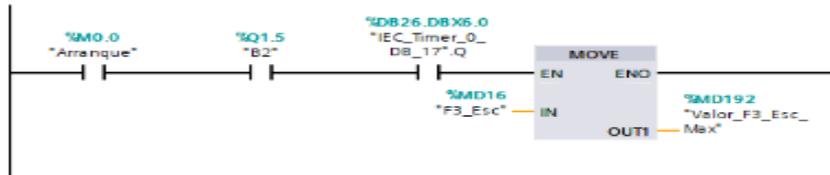
**Segmento 77:** ---

Comentario



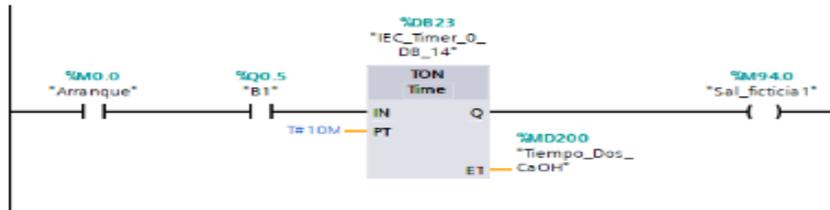
**Segmento 78:** —

Comentario



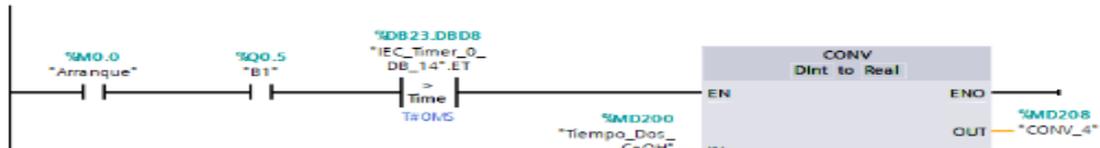
**Segmento 79:** —

DOSIFICACION DE CAL

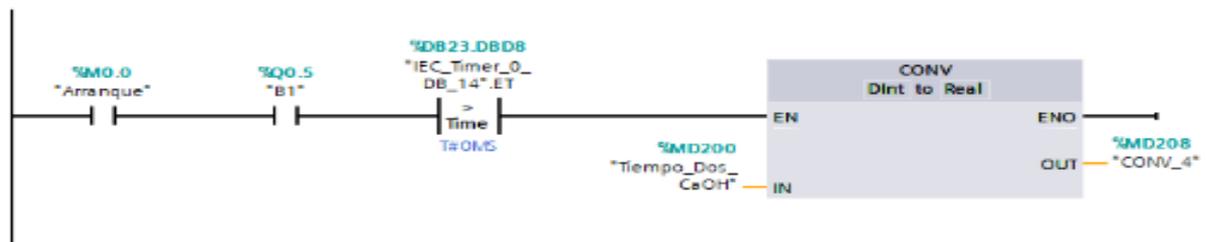


**Segmento 80:** —

Comentario

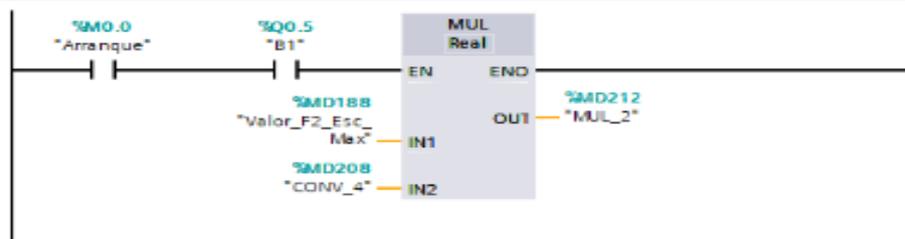


Comentario



**Segmento 81:** —

Comentario



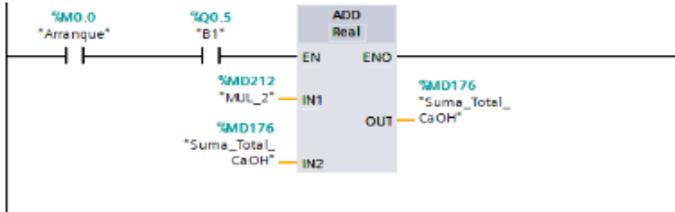
**Segmento 82:** —

Comentario



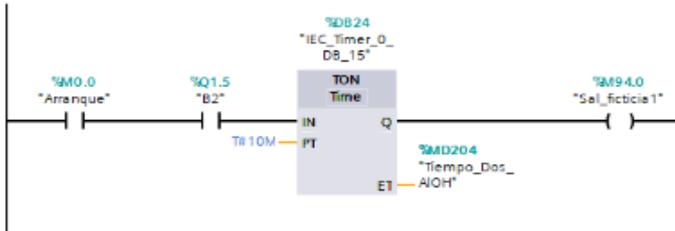
Segmento 82: ---

Comentario



Segmento 83: ---

DOSIFICACION DE CAL



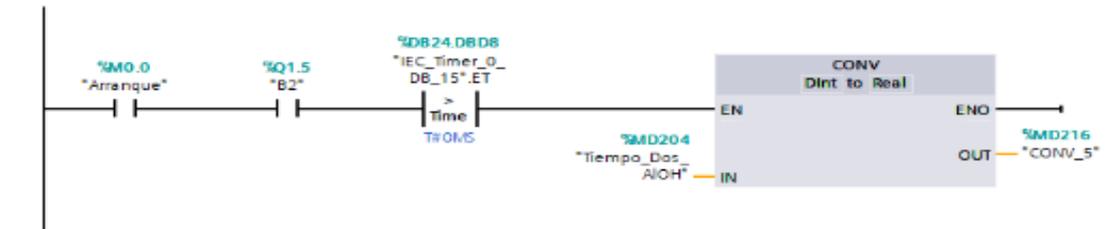
Segmento 84: ---

Comentario



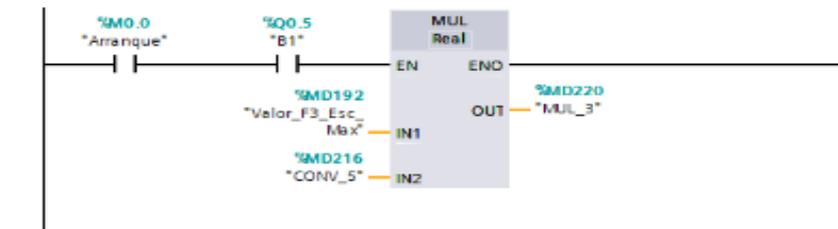
Segmento 84: ---

Comentario



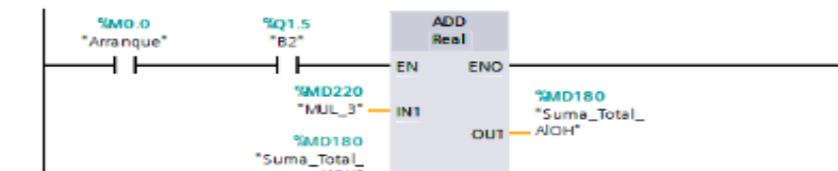
Segmento 85: ---

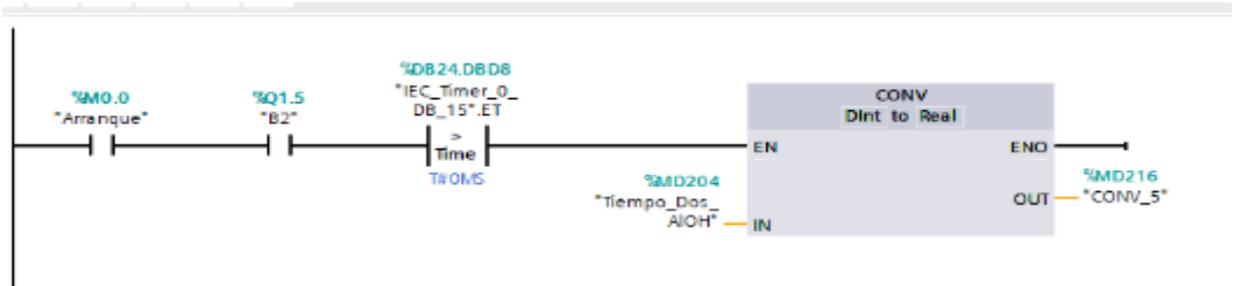
Comentario



Segmento 86: ---

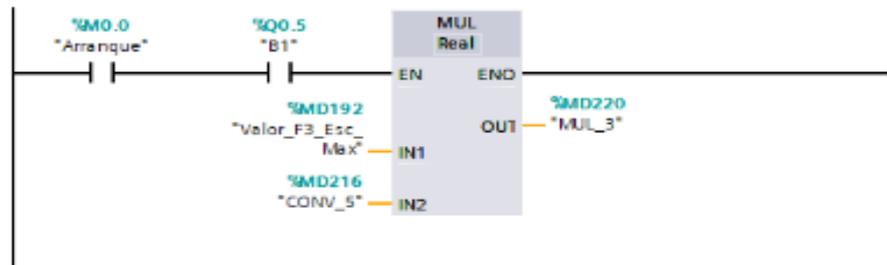
Comentario





**Segmento 85:** ----

Comentario



**Segmento 86:** ----

Comentario

